

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

ESTUDIO SOBRE LA UTILIZACIÓN DE HERRAMIENTAS DE MEJORA DE LA CALIDAD EN EMPRESAS INDUSTRIALES ESPAÑOLAS



Grado en Ingeniería
en Tecnologías Industriales

Trabajo Fin de Grado

Eloy Moreno Lagunilla

Javier Merino Díaz de Cerio

Pamplona, Mayo 2017

A mi familia por apoyarme siempre y confiar ciegamente.

A mis amigos y compañeros por hacer de estos años mucho
más que un simple grado.

A mi tutor D. Javier Merino Díaz de Cerio por aconsejarme y
mostrarse siempre dispuesto a cualquier ayuda.

A la Universidad Pública de Navarra por los conocimientos
aportados durante estos años.

A Álvaro Mambrilla Herrero por guiarme siempre.



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 ANTECEDENTES.....	14
1.2 RESUMEN.....	14
2. ESTUDIO TEÓRICO	17
2.1 SEIS SIGMA.....	18
2.1.1 ANTECEDENTES.....	18
2.1.2 MÉTRICA SEIS SIGMA.....	18
2.1.3 PRINCIPIOS DE SEIS SIGMA.....	20
2.1.4 DIFERENTES ROLES EN LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA	20
2.1.5 METODOLOGÍA SEIS SIGMA	21
2.1.6 METODOLOGÍA DMAIC	22
2.1.6.1 DEFINICIÓN	22
2.1.6.2 MEDICIÓN	23
2.1.6.3 ANÁLISIS.....	23
2.1.6.4 MEJORA.....	23
2.1.6.5 CONTROL.....	24
2.2 METODOLOGÍA 5 “S”.....	24
2.2.1 ANTECEDENTES.....	24
2.2.2 ETAPAS.....	25
2.2.2.1 CLASIFICACIÓN	25
2.2.2.2 ORGANIZACIÓN	26
2.2.2.3 LIMPIEZA	27
2.2.2.4 ESTANDARIZACIÓN	28
2.2.2.5 DISCIPLINA.....	28
2.3 CONTROL ESTADÍSTICO DE LOS PROCESOS (SPC)	29
2.3.1 ANTECEDENTES.....	29
2.3.2 PRINCIPIOS BÁSICOS	30
2.3.3 GRÁFICOS DE CONTROL.....	31
2.3.4 TIPOS DE GRÁFICOS DE CONTROL.....	32
2.3.4.1 GRÁFICOS DE CONTROL PARA VARIABLES	32
GRÁFICOS DE CONTROL PARA LA MEDIA. GRÁFICOS X.....	33
GRÁFICOS DE CONTROL PARA EL RECORRIDO. GRÁFICOS R	34
DIAGRAMA DE CONTROL PARA X Y S	35
DIAGRAMA DE S	35

DIAGRAMA DE X	36
2.3.4.2 GRÁFICOS DE CONTROL PARA ATRIBUTOS	37
GRÁFICO P	37
GRÁFICO C.....	38
2.4 AMFE.....	39
2.4.1 ANTECEDENTES.....	39
2.4.2 INTRODUCCIÓN	39
2.4.3 DEFINICIONES FUNDAMENTALES	40
2.4.4 DESARROLLO DEL MÉTODO.....	41
2.5 TAGUCHI.....	47
2.5.1 ANTECEDENTES.....	47
2.5.2 INTRODUCCIÓN	47
2.5.3 CONTROL DE CALIDAD OFF LINE Y ON LINE.....	48
2.5.4 FUNCIÓN DE PÉRDIDA	49
2.6 OCHO DISCIPLINAS PARA LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS.....	50
2.6.1 ANTECEDENTES.....	50
2.6.2 MÉTODO.....	51
3. ANÁLISIS PRÁCTICO	53
3.1 ANÁLISIS DE ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS	54
3.1.1 AÑO DE FUNDACIÓN DE LA PLANTA	54
3.1.1.1 EMPRESAS FUNDADAS ENTRE 1790 Y 1940.....	55
3.1.1.2 EMPRESAS FUNDADAS ENTRE 1940 Y 1962.....	57
3.1.1.3 EMPRESAS FUNDADAS ENTRE 1962 Y 1984.....	59
3.1.1.4 EMPRESAS FUNDADAS ENTRE 1984 Y 2005.....	60
3.1.1.5 RECOPIACIÓN DE DATOS	62
3.1.2 TIPO DE PRODUCTOS QUE SE FABRICAN EN EL ESTABLECIMIENTO.....	62
3.1.2.1 EMPRESAS FABRICANTES DE BIENES DE CONSUMO	64
3.1.2.2 EMPRESAS FABRICANTES DE BIENES INTERMEDIOS Y DE EQUIPO.....	65
3.1.2.3 EMPRESAS FABRICANTES DE AMBOS TIPOS DE BIENES	67
3.1.2.4 RECOPIACIÓN DE DATOS.....	68
3.1.3 NÚMERO DE TRABAJADORES EN LA PLANTILLA.....	69
3.1.3.1 MICROEMPRESAS Y PEQUEÑAS EMPRESAS	69
3.1.3.2 MEDIANA EMPRESA.....	69
SUBGRUPO 1 DE MEDIANA EMPRESA	70
SUBGRUPO 2 DENTRO DE MEDIANA EMPRESA.....	70
3.1.3.3 GRAN EMPRESA	71

3.1.3.4 RECOPIACIÓN DE DATOS	73
3.1.4 EMPRESAS EXPORTADORAS O NO EXPORTADORAS	73
3.1.4.1 EMPRESAS NO EXPORTADORAS.....	74
3.1.4.2 EMPRESAS EXPORTADORAS	75
3.1.4.3 RECOPIACIÓN DE DATOS	77
3.1.5 VENTAJA COMPETITIVA UTILIZADA	77
3.1.5.1 UTILIZACIÓN DEL COSTE COMO VENTAJA COMPETITIVA	78
3.1.5.2 UTILIZACIÓN DE LA CALIDAD COMO VENTAJA COMPETITIVA	79
3.1.5.3 UTILIZACIÓN DE OTRA VENTAJA COMPETITIVA	81
3.1.5.4 RECOPIACIÓN DE DATOS	83
3.1.6 SECTOR CARACTERIZADO POR SU INTENSIDAD TECNOLÓGICA.....	83
3.1.6.1 EMPRESAS CON UNA BAJA INTENSIDAD TECNOLÓGICA.....	84
3.1.6.2 EMPRESAS CON UNA MEDIA BAJA INTENSIDAD TECNOLÓGICA.....	86
3.1.6.3 EMPRESAS CON UNA MEDIA ALTA INTENSIDAD TECNOLÓGICA	87
3.1.6.4 EMPRESAS CON UNA ALTA INTENSIDAD TECNOLÓGICA	89
3.1.6.5 RECOPIACIÓN DE DATOS	90
3.2 ANÁLISIS FACTORIAL	91
3.2.1 PASO 1: SELECCIÓN DE VARIABLES	91
3.2.2 PASO 2: SUPUESTOS EN EL ANÁLISIS FACTORIAL	92
3.2.3 PASO 3: CÁLCULO DEL NÚMERO DE FACTORES A SER EXTRAÍDOS	93
3.3 ANÁLISIS DE VARIANZA	95
3.3.1 AÑO DE FUNDACIÓN DE LA PLANTA	96
3.3.2 TIPO DE PRODUCTO FABRICADO	96
3.3.3 NÚMERO DE TRABAJADORES EN PLANTILLA	97
3.3.4 EXPORTADORES O NO EXPORTADORES	98
3.3.5 VENTAJA COMPETITIVA UTILIZADA	98
3.3.6 SECTOR CARACTERIZADO POR SU INTENSIDAD TECNOLÓGICA.....	99
3.4 REGRESIÓN LINEAL	100
3.4.1 INTRODUCCIÓN	100
3.4.2 ANÁLISIS.....	101
3.4.3 RESULTADOS	103
4. CONCLUSIONES	109
4.1 ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS.....	110
4.2 ANÁLISIS FACTORIAL	110
4.3 ANÁLISIS DE VARIANZA	110
4.4 REGRESIÓN LINEAL	110

5.	BIBLIOGRAFÍA.....	115
----	-------------------	-----

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Eficiencia de los niveles de Sigma. Referencia: Pdcahome.....	19
Ilustración 2: Distribución gráfica de la variación en función de sigma. Referencia: Lean solutions	19
Ilustración 3: Metodología DMAIC. Referencia: Enki Consultoría	22
Ilustración 4: Fases de la metodología 5S. Referencia: Prevencionar.....	25
Ilustración 5: Causas comunes y especiales de variabilidad. Referencia: Control estadístico de la calidad. Fermín Mallor.....	30
Ilustración 6: Gráfico de control. Referencia: Control estadístico de la calidad. Fermín Mallor.	31
Ilustración 7: Modelo general para gráfico de control. Referencia: Control estadístico de la calidad. Fermín Mallor.....	31
Ilustración 8: Clasificación de la gravedad del modo de fallo según la repercusión en el cliente/usuario. Referencia: Ministerio de trabajo y asuntos sociales.....	43
Ilustración 9: Clasificación de la frecuencia de ocurrencia del modo de fallo. Referencia: Ministerio de trabajo y asuntos sociales.....	43
Ilustración 10: Clasificación de la facilidad de detección de modo de fallo. Referencia: Ministerio de trabajo y asuntos sociales.....	44
Ilustración 11: Ejemplo de formulario AMFE. Referencia: Ministerio de trabajo y asuntos sociales.	46
Ilustración 12: Función de pérdida. Referencia: Gestión de operaciones.	50
Ilustración 13: Histograma agrupaciones por año de fundación. Referencia: SPSS.....	55
Ilustración 14: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fundadas entre 1790 y 1940. Referencia: SPSS.....	57
Ilustración 15: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fundadas entre 1940 y 1962. Referencia: SPSS.....	58
Ilustración 16: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fundadas entre 19462 y 1984. Referencia: SPSS.....	60
Ilustración 17: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fundadas entre 1984 y 2005. Referencia: SPSS.....	61
Ilustración 18 Histograma agrupaciones por tipo de producto fabricado. Referencia: SPSS.	63
Ilustración 19: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fabricantes de bienes de consumo. Referencia: SPSS.	65
Ilustración 20: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fabricantes de bienes intermedios y de equipo. Referencia: SPSS.	66
Ilustración 21 Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fabricantes de ambos tipos de bienes. Referencia: SPSS.....	68
Ilustración 22: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en grandes empresas. Referencia: SPSS.	72
Ilustración 23: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas no exportadoras. Referencia: SPSS.	75
Ilustración 24: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas exportadoras. Referencia: SPSS.	76
Ilustración 25: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas que utilizan el coste como ventaja competitiva. Referencia: SPSS.....	79

Ilustración 26: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas que utilizan la calidad como ventaja competitiva. Referencia: SPSS.....	81
Ilustración 27: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas que utilizan otras ventajas competitivas. Referencia: SPSS.	82
Ilustración 28: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes a sectores con una baja intensidad tecnológica. Referencia: SPSS. 85	
Ilustración 29: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes a sectores con una media baja intensidad tecnológica. Referencia: SPSS.	87
Ilustración 30: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes a sectores con una media alta intensidad tecnológica. Referencia: SPSS.	88
Ilustración 31: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes a sectores con una alta intensidad tecnológica. Referencia: SPSS. 90	
Ilustración 32: Gráfico de sedimentación. Referencia: SPSS	94
Ilustración 33: Diagrama sobre el funcionamiento del método paso a paso. Referencia: Análisis multivariante J.F. Hair.....	102
Ilustración 34: Gráfico P-P estudio de normalidad de los residuos. Referencia: SPSS.	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Grupos realizados por año de fundación.....	55
Tabla 2: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fundadas entre 1790 y 1940.....	56
Tabla 3: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fundadas entre 1940 y 1962.....	57
Tabla 4: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fundadas entre 1962 y 1984.....	59
Tabla 5: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fundadas entre 1984 y 2005.....	60
Tabla 6: Recopilación de datos en función del año de fundación	62
Tabla 7: Grupos realizados por tipo de bienes fabricados.....	63
Tabla 8: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fabricantes de bienes de consumo.	64
Tabla 9: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fabricantes de bienes intermedios y de equipo.....	65
Tabla 10: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fabricantes de ambos tipos de bienes.	67
Tabla 11: Recopilación de datos en función del tipo de producto fabricado.	68
Tabla 12: Grupos realizados por el tamaño de las empresas.....	69
Tabla 13: Subgrupos realizados en mediana empresa.....	70
Tabla 14: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes al subgrupo uno dentro de mediana empresa.....	70
Tabla 15: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes al subgrupo dos dentro de mediana empresa.	71
Tabla 16: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en grandes empresas	71
Tabla 17: Recopilación de datos en función del número de trabajadores en plantilla.	73
Tabla 18: Agrupación de empresas en función de si exportan o no.....	73
Tabla 19: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas no exportadoras.	74
Tabla 20: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas exportadoras.	75
Tabla 21: Recopilación de datos en función de si la empresa es o no exportadora.....	77
Tabla 22: Agrupación en función de la ventaja competitiva utilizada.	78
Tabla 23: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas cuya ventaja competitiva es el coste.	78
Tabla 24: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas cuya ventaja competitiva es la calidad.....	80
Tabla 25: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas cuya ventaja competitiva es diferente al coste o la calidad.	81
Tabla 26: Recopilación de datos en función del tipo de ventaja competitiva.	83
Tabla 27: Agrupación en función de la intensidad tecnológica del sector al que pertenecen.	84
Tabla 28: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes a un sector con una baja intensidad tecnológica.....	84

Tabla 29: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes a un sector con una media baja intensidad tecnológica.	86
Tabla 30: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes a un sector con una media alta intensidad tecnológica.	87
Tabla 31: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes a un sector con una alta intensidad tecnológica.	89
Tabla 32: Recopilación de datos en función del sector, caracterizado en función de su intensidad tecnológica.	90
Tabla 33: Pruebas KMO y de esfericidad de Bartlett.....	92
Tabla 34: Autovalores y porcentajes de varianza explicada en el análisis factorial dependiendo del número de factores.	93
Tabla 35: Análisis de varianza en función del año de fundación de la planta.....	96
Tabla 36: Análisis de varianza en función del tipo de producto fabricado.	97
Tabla 37: Análisis de varianza en función del número de trabajadores en plantilla.	98
Tabla 38: Análisis de varianza en función de si la empresa es o no exportadora.	98
Tabla 39: Análisis de varianza en función de la ventaja competitiva utilizada.....	99
Tabla 40: Análisis de varianza en función de la intensidad tecnológica del sector al que pertenecen.	100
Tabla 41: Correlaciones entre las diferentes características tratadas.	103
Tabla 42: Modelos obtenidos y estadísticos utilizados.	108

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Hoy en día existe una creciente necesidad de mejora de la productividad en las empresas, esta necesidad nace de la extrema competitividad dentro de los mercados que se está viviendo actualmente. Gran parte de esta competitividad proviene de países en los que la mano de obra es más barata que la que se conoce aquí en España, lo que implica que las empresas Españolas deben encontrar soluciones con el fin de reducir al máximo sus costes, sin hacer peligrar su productividad.

A causa de esto, las empresas deben aplicarse encarecidamente en encontrar aquellas soluciones que les permitan tanto aumentar su productividad como su eficiencia y eficacia.

1.2 RESUMEN

El presente trabajo se centra en el estudio de la utilización, por parte de empresas industriales españolas, de un tipo de herramientas cuyo objetivo no es otro que mejorar la calidad de los diferentes procesos realizados por las empresas. Estas son las llamadas herramientas de mejora de la calidad. Más concretamente las herramientas que se van a tratar son:

- Seis Sigma
- Control estadístico de los procesos
- 5S
- Taguchi
- AMFE
- Ocho disciplinas para la resolución de problemas (8D)

Utilizando los datos disponibles en el Cuestionario de Competitividad de Empresas, se desarrolla un análisis centrado en la búsqueda de aquellas herramientas más utilizadas y en encontrar posibles relaciones entre diferentes características que definen a las empresas y el tipo de herramientas que estas mismas utilizan. Los análisis pertinentes se van a realizar con el programa estadístico SPSS.

El trabajo quedará dividido en dos partes, en una primera se realizará el estudio teórico en el cual se explicarán las diferentes herramientas de mejora de la calidad tratadas con el fin de entender las diferencias entre ellas y sus posibles ámbitos de aplicación.

La segunda parte será en análisis práctico que englobará todos los análisis realizados a través de SPSS. Más concretamente la parte práctica del trabajo estará formada por lo siguiente:

1. Análisis de estadísticos descriptivos. En esta parte se buscarán las herramientas que son más utilizadas dentro de las empresas, que previamente habrán sido organizadas en función de unas características que se detallarán previamente.
2. Análisis factorial. Se realizará con el fin de averiguar si los datos sobre el grado de utilización de las diferentes herramientas de mejora de la calidad (seis variables) pueden ser resumidos y explicados por un menor número de variables.
3. Análisis de varianza. Se realizarán análisis de varianza para encontrar posibles diferencias significativas, en el grado de utilización de las herramientas de mejora de la calidad, en función de las características tratadas en el apartado de análisis de estadísticos descriptivos. Es decir, se buscará cuáles de estas características influyen en el grado de utilización de las herramientas de mejora de la calidad.
4. Regresión lineal. Este apartado se centrará en la búsqueda de un modelo que, a partir de las características de las empresas que se han utilizado, consiga explicar el grado de utilización de las herramientas de mejora de la calidad que las empresas industriales españolas hacen.

2. ESTUDIO TEÓRICO

2.1 SEIS SIGMA

Seis sigma es una metodología de mejora de procesos, cuyo principal objetivo es reducir la variabilidad de estos para así eliminar errores, defectos y retrasos en los diferentes procesos de negocio. Seis Sigma se basa en herramientas estadísticas y análisis matemáticos tanto para diseñar productos y procesos como para mejorar los que ya se llevan a cabo.

La meta de Seis Sigma es conseguir alcanzar un máximo de 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO) entendiendo como defecto cualquier circunstancia en la cual un producto o proceso no logra cumplir los requisitos del cliente. Esto significa, que los procesos deben ser casi perfectos ya que deberán tener un porcentaje de éxito del 99,9997%.

2.1.1 ANTECEDENTES

Seis Sigma fue iniciada en la década de 1980 en Motorola por el ingeniero Bill Smith con el apoyo de un equipo de directivos, entre los que destacaba el entonces presidente de la compañía Bob Galvin, con el objetivo de disminuir los defectos en los productos fabricados.

Desde entonces, este método ha sido adoptado por un gran número de compañías como Allied Signal en 1994 Y General Electric en 1995.

A continuación se citan diferentes beneficios que dichas empresas han conseguido debido al uso de Seis Sigma:

- Motorola consiguió alrededor de 100 millones de dólares en ahorros durante tres años.
- Allied Signal consiguió mas de 2000 mil millones de dólares en ahorros entre 1994 y 1999.
- General Elctric logró 2250 millones de dólares en ahorros entre 1998 y 1999.

2.1.2 MÉTRICA SEIS SIGMA

La letra griega “Sigma” (σ) en estadística es utilizada para hacer referencia a la desviación típica, que da una idea de la variabilidad del proceso, es decir de la dispersión de los datos respecto a la media. Por tanto cuanto mayor sea el Sigma menor será la desviación estándar y en consecuencia más preciso y menos variable será el proceso. A continuación en la ilustración 1 se detalla la clasificación de la eficiencia de un proceso en base a su nivel sigma:

NIVEL EN SIGMA	DPMO	RENDIMIENTO
6	3.40	99.9997 %
5	233.00	99.98 %
4	6.210,00	99.3 %
3	66.807,00	93.3 %
2	308.537,00	69.15 %
1	690.000,00	30.85 %
0	933.200,00	6.68 %

Ilustración 1: Eficiencia de los niveles de Sigma. Referencia: Pdcachome

Centrándonos en 6 sigma, podemos afirmar que esto significa que la variación del proceso es equivalente a seis desviaciones estándar del proceso entre la media del mismo y los límites de especificación.

A continuación en la ilustración 2 se observan gráficamente las diferencias existentes en entre los rendimientos asociados a diferentes sigmas.

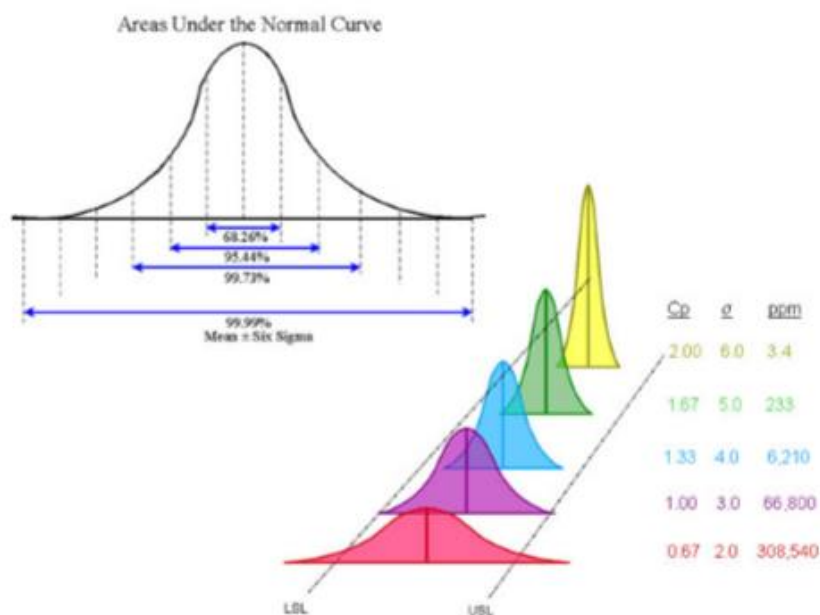


Ilustración 2: Distribución gráfica de la variación en función de sigma. Referencia: Lean solutions

2.1.3 PRINCIPIOS DE SEIS SIGMA

1. Liderazgo comprometido.
2. Estructura directiva con personal a tiempo completo.
3. Entrenamiento.
4. Acreditación.
5. Orientación al cliente y a los procesos.
6. Dirigida con datos.
7. Basada en una fuerte metodología.
8. Proyectos generan ahorros o aumento en ventas.
9. Trabajo reconocido.
10. Se plantea proyectos largos.
11. Se comunica.

2.1.4 DIFERENTES ROLES EN LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA

Uno de los factores decisivos de este método es la necesidad de apoyo y dirección por parte de la gerencia, así como una absoluta implicación de todo el equipo. La estructura humana se compone de:

- **Champion:** Directores de área responsables de garantizar el éxito al implantar Seis Sigma en las diferentes áreas.
- **Master Black Belt:** Personal experto en técnicas de Seis Sigma y en dirección de proyectos. Dirigen y entrenan a los “Black Belt” en su desarrollo como expertos Seis Sigma.
- **Black Belt:** Es el líder y encargado de fijar los objetivos de calidad, los proyectos y de apoyar y controlar su ejecución.
- **Green Belt:** Lideran proyectos de mejora con un amplio conocimiento tanto en la metodología como en las herramientas de Seis Sigma. Es el responsable de la correcta ejecución de los proyectos.

- Miembros del equipo: Representantes de diferentes áreas relacionadas con el proyecto. Suponen una ayuda a la hora de realizar tareas, buscar posibles mejoras y conseguir los resultados.

2.1.5 METODOLOGÍA SEIS SIGMA

La metodología Seis Sigma más conocida es la llamada DMAIC, que recibe su nombre de las iniciales de las 5 fases en que se divide:

1. Definir (Define)
2. Medir (Measure)
3. Analizar (Analyze)
4. Mejorar (Improve)
5. Controlar (Control)

El objetivo de esta metodología es mejorar procesos que ya se están llevando a cabo.

Además de la metodología DMAIC existen otras que son utilizadas en diferentes circunstancias. Algunas de ellas pueden ser:

- DMADV: Se utiliza cuando se busca mejorar procesos que ya han intentado optimizarse, pero sin un resultado del todo satisfactorio. Las fases de las que recibe su nombre son las siguientes: Define, Measure, Analyze, Design, Verify.
- IDOV: Se utiliza a la hora de establecer nuevos procesos o productos de los que por tanto no existe ninguna medición. Recibe su nombre de las siguientes fases: Identify, Design, Optimize, Validate.
- CQDFSS: Se lleva a cabo a la hora de tener que buscar o asegurar la introducción de un producto o proceso al mercado. Recibe su nombre de: Commercial Quality Design For Six Sigma

2.1.6 METODOLOGÍA DMAIC

La metodología DMAIC es la llevada a cabo a la hora de conseguir mejoras en procesos que ya existen. Este proceso que lleva a cabo a través de 5 etapas que describiremos a continuación.



Ilustración 3: Metodología DMAIC. Referencia: Enki Consultoría

2.1.6.1 DEFINICIÓN

En esta fase se deben identificar los posibles procesos o productos que deben ser mejorados y se realiza una evaluación de los mismos, con el fin de asegurar que se tienen los recursos necesarios y de estimar el coste de los mismos. Además, una vez que se ha seleccionado el proyecto, se pasa seleccionar al equipo que se hará cargo de llevarlo a cabo.

En esta fase se deben realizar los siguientes pasos:

- Establecer cuáles son los requerimientos del cliente.
- Determinar las necesidades del cliente, fijando así metas y beneficios.
- Identificar al equipo que se hará cargo del proyecto.
- Identificar el proceso a mejorar.
- Acotar la parte del proceso a analizar.
- Desarrollar el plan para llevar a cabo el proyecto.

2.1.6.2 MEDICIÓN

El objetivo de esta fase es identificar las principales características del producto o proceso, en base a los requerimientos del cliente, y los posibles defectos. Una vez que se ha obtenido esta información, se puede medir la capacidad del proceso e identificar posibles mejoras.

Los pasos a llevar a cabo son los siguientes:

- Realizar un mapa del proceso centrándose en las áreas críticas.
- Identificar las variables a medir.
- Establecer un plan de recolección de datos.
- Validar el sistema de medida.
- Realizar la recolección de datos y establecer límites a las variables.
- Calcular cual es la capacidad del proceso.

2.1.6.3 ANÁLISIS

En esta fase se evalúan los datos obtenidos en la medición y se establecen y comprueban hipótesis sobre relaciones causa-efecto. De este modo se consigue separar las variables vitales, es decir aquellas que es más probable que afecten a la variación, de las variables triviales, que son aquellas que es más improbable que afecten a la variación.

En esta fase se deben realizar los siguientes pasos:

- Requerimientos del cliente respecto a parámetros a medir.
- Evaluar cuál es la capacidad del proceso respecto a esos parámetros.
- Establecer cuáles son los objetivos de mejora.
- Identificar las posibles fuentes de variación del proceso.
- Definir que variables se pueden controlar y monitorizar las que no.

2.1.6.4 MEJORA

En esta fase se comprueba que lo planteado hasta ahora, va conseguir un resultado satisfactorio en cuanto a la mejora de calidad del producto o proceso. Las soluciones planteadas se prueban en un ambiente real de negocio a pequeña escala y de este modo se puede asegurar que se han arreglado las causas de variación.

Los pasos a realizar en esta fase son los siguientes:

- Identificar los factores que afectan a la variabilidad del proceso.
- Establecer la relación existente entre las entradas y las salidas del proceso

- Definir la relación entre los parámetros de medición y los factores que afectan a la variabilidad.
- Fijar los ajustes necesarios para optimizar el proceso.

2.1.6.5 CONTROL

La fase de control es la última de la metodología DMAIC. El objetivo principal es diseñar los controles pertinentes para asegurar, que una vez conseguidas las mejoras esperadas, el proceso no se volverá a su estado anterior. Además en esta fase se procede a compartir la información adquirida, con el objetivo de poder favorecer posibles mejoras en distintas áreas.

Los pasos a realizar son los siguientes:

- Asegurar que el proceso se ha analizado, corregido y estabilizado.
- Estandarizar el proceso.
- Impedir que el proceso vuelva a su estado anterior mediante una monitorización del mismo.
- Planificar y documentar el plan del control.
- Cerrar el proyecto y compartir la información con otras áreas.

2.2 METODOLOGÍA 5 “S”

El método de las 5S es una técnica de gestión de la calidad que se basa en cinco pilares. El objetivo de esta técnica es optimizar los lugares de trabajo y conseguir que estén más ordenados y más limpios, de modo que sea más sencillo alcanzar una mejor productividad y mejorar de este modo el entorno laboral.

2.2.1 ANTECEDENTES

El método de las 5S nació en Japón hace más de 40 años, iniciado por la empresa Toyota de la mano de W. E. Deming y sugerido por la Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros a raíz de la segunda guerra mundial. Los principales objetivos eran eliminar todos aquellos obstáculos que dificultasen conseguir una producción eficiente, lo que trajo consigo un aumento de la higiene y la seguridad en todo el entorno laboral.

Recibe su nombre del nombre en japonés de las cinco etapas en las que está dividido:

- Clasificación (Seiri)
- Orden (Seiton)
- Limpieza (Seiso)
- Estandarización (Seiketsu)
- Disciplina (Shitsuke)



Ilustración 4: Fases de la metodología 5S. Referencia: Prevencionar

A través de estas cinco etapas se pretenden conseguir los siguientes objetivos:

- Mejorar las condiciones de trabajo.
- Reducir costes innecesarios de energía, tiempo y dinero.
- Incrementar la moral por el trabajo
- Aumentar la vida útil de los equipos.
- Reducir las causas potenciales de accidentes aumentando así la seguridad en el trabajo
- Mejorar la calidad de la producción

2.2.2 ETAPAS

2.2.2.1 CLASIFICACIÓN

Esta fase está centrada en diferenciar los elementos que son necesarios a la hora de realizar nuestro trabajo, de los que no lo son, con el objetivo de poder deshacernos de estos últimos.

Con el objetivo de realizar una buena diferenciación de recursos, se deben realizar diferentes pautas:

- Analizar exhaustivamente qué es necesario y que no.
- Recolocar los elementos en función de su utilidad. Cuanto más útil más cerca del trabajador.

- Eliminar elementos que puedan afectar al correcto funcionamiento de los equipos.
- Determinar si los elementos desechados pueden ser utilizados en otras áreas.

Un correcto desarrollo de la fase de clasificación arrojará una serie de beneficios fácilmente visibles:

- Espacio libre útil tras la eliminación de elementos innecesarios.
- Reducción del tiempo de acceso a los materiales.
- Reducción de tiempos dedicados al control del stock y de las materias primas.

Se deben seguir una serie de pasos a la hora de llevar a cabo la etapa de clasificación:

1. **Identificar los elementos innecesarios:** Se basa en identificar los elementos que no se consideran necesarios con el fin de poder eliminarlos del área de trabajo.
2. **Plan de acción:** El objetivo de estos planes es facilitar la eliminación de diferentes elementos que pueden ser más complicados de retirar. Se debe crear un plan para alejarlos de forma gradual, empezando por cambiarlos de posición dentro del área de trabajo para posteriormente moverlos fuera de dicha área y finalmente eliminarlos.
3. **Control:** Se deben registrar en un informe todos los cambios que se hayan realizado así como los beneficios conseguidos a través de los mismos.

2.2.2.2 ORGANIZACIÓN

El principal objetivo de esta fase es ubicar todos aquellos elementos que en la fase de clasificación han sido identificados como necesarios, de forma que se pueda acceder a ellos de una forma rápida así como poder devolverlos también lo más rápido posible.

De este modo, se debe asignar a cada elemento un sitio único y exclusivo que dependerá de la frecuencia con la que el elemento sea utilizado, sabiendo que cuanto más se utilice más cerca deberá de estar del puesto de trabajo.

A la hora de implantar un método de organización es recomendable seguir una serie de pasos con el fin de que estos cambios sean los más duraderos posibles. Estos pasos son:

- Realizar controles visuales lo que ayuda a: ubicar velozmente donde se encuentran los distintos elementos y donde podrían colocarse; dónde se encuentran los diferentes enchufes, lo que ayuda a pensar sobre las posibles ubicaciones de la maquinaria.
- Realizar un mapa 5S que muestra la ubicación de los diferentes elementos que se quieren colocar en diferentes áreas. Estos mapas están basados en criterios como: ubicar los elementos en función de su frecuencia de uso; aquellos elementos que se utilicen juntos deberán ser almacenados conjuntamente; aquellos elementos que se utilicen en un mismo producto deberán ser

almacenados conjuntamente; las zonas de almacenamiento deberán ser más grandes que los elementos que almacenan para evitar posibles problemas.

- Marcar las ubicaciones lo que facilita la identificación de los distintos elementos y de su ubicación.
- Realizar una marcación por colores en función de las diferentes áreas de trabajo en las que los elementos sean requeridos. Esto facilita la división entre áreas de trabajo lo que es muy beneficioso en términos de aumento de seguridad, movimiento y orden.
- Llevar a cabo una codificación por colores que ayude a una rápida elección de las herramientas a utilizar.
- Poner en marcha una identificación de los contornos, de forma que se facilite la colocación de los diferentes elementos en sus sitios correspondientes, lo que es muy beneficioso a la hora de mantener el orden conseguido en el área de trabajo.

2.2.2.3 LIMPIEZA

En esta fase se lleva a cabo la limpieza no solo de las áreas de trabajo sino también de las herramientas y la maquinaria. Se asume la limpieza como una parte del trabajo diario.

Existen gran cantidad de beneficios provenientes de una buena limpieza, algunos de ellos de vital importancia para el buen desempeño del trabajo:

- Los riesgos de que se produzcan accidentes disminuyen.
- Se realizan limpiezas exhaustivas de la maquinaria, lo que aumenta tanto su vida útil como el conocimiento de las mismas por parte de los empleados.
- Se aumenta la efectividad global.
- La calidad de los productos y los procesos mejora al evitar posibles pérdidas producidas por suciedad y averías.

La fase de limpieza debe ser implantada a través de una serie de pasos para asegurar su continuidad en el tiempo. Estos son:

- Jornadas de limpieza: El objetivo de estas jornadas es sentar una base sobre el estado en el que, tanto la maquinaria como el área de trabajo, deben encontrarse. La función principal de la fase de la fase de limpieza no es realizar este tipo de jornadas en momentos puntuales, sino conseguir que todo se encuentre limpio a lo largo del tiempo.
- Planificar el mantenimiento de la limpieza: Las tareas de limpieza deberán ser claramente asignadas entre los empleados. Una se realice el reparto de tareas, este deberá quedar registrado.
- Manual de limpieza: Las personas encargadas de realizar tareas de limpieza deberán conocer la forma en que se debe realizar la limpieza. Esto incluye tanto

el saber usar los diferentes productos de limpieza necesarios, como saber realizar las diferentes inspecciones necesarias en caso de tener que limpiar maquinaria.

Es muy importante asumir que realizar una buena limpieza es de vital importancia, ya que ayuda, a través de las inspecciones de los equipos, a detectar posibles mejoras que podrían ser requeridas en el futuro.

2.2.2.4 ESTANDARIZACIÓN

En esta fase, lo que se busca es adoptar una metodología que ayude a mantener en el tiempo los cambios que se han conseguido durante las fases de clasificación, organización y limpieza.

A través de esta metodología se conseguirán diversos objetivos:

- Se mantiene el estado de limpieza y orden alcanzado a través de las fases anteriores.
- Se almacena el conocimiento adquirido a través del empleo de las distintas fases.
- Se crea un hábito en el personal que será beneficioso a la hora de introducir posibles mejoras.
- Se consigue que el personal adquiera mayor responsabilidad en la gestión del puesto de trabajo.
- Se mejora la productividad.

A la hora de implementar la fase de estandarización se requieren una serie de pasos:

1. Asignar responsabilidades: Se debe asignar responsabilidades de forma clara a los empleados sobre las fases de clasificación, orden y limpieza. Estas responsabilidades deben dejar claro qué se espera de cada empleado en relación a cada fase, cómo debe hacerlo y dónde.
2. Integrar las responsabilidades en la rutina: Hasta que todas las tareas que cada empleado debe realizar no estén incluidas en sus rutinas, la fase de estandarización no se habrá completado.

2.2.2.5 DISCIPLINA

A través de esta fase se pretende conseguir que los métodos de clasificación, orden, limpieza y estandarización se empleen de forma continua, es decir, que los empleados respeten y utilicen correctamente los procedimientos, controles y estándares implantados.

Si la fase de disciplina no se consigue llevar a cabo de la forma correcta, todo lo que se ha desarrollado hasta este punto se perderá, desapareciendo así todos los beneficios que

se habían conseguido. Esta fase es el canal entre las 5S y la mejora continua de los procesos, el producto y el área de trabajo.

Al igual que en las etapas anteriores, en la fase de disciplina se deben seguir una serie de pasos para facilitar su implantación. Estos pasos no son tan fácilmente controlables como anteriormente ya que la disciplina no es visible y no puede medirse, por ello el camino de implantación estará más centrado en estimular la práctica de la disciplina en los empleados.

- **Visión compartida:** Se debe favorecer la existencia de una convergencia entre los objetivos de la empresa y los de los empleados. Si se consigue que los empleados entiendan los logros de la empresa como propios, se recibirá de ellos un mayor empeño y disciplina.
- **Formación:** El método de las 5S no se basa en la implantación de medidas por obligación sino en educar a los empleados en cada una de las fases necesarias. Una vez que los trabajadores entiendan los pasos a realizar y observen los beneficios provenientes de ellos estos resultaran más sencillos de realizar y será más fácil que su utilización se alargue en el tiempo.
- **Tiempo:** Es necesario dotar a los empleados del tiempo suficiente para que puedan llevar a cabo cada una de las etapas de las 5S en su totalidad y en su correcta forma. De no ser así, los propios empleados entenderán estas tareas como secundarias y perderán el interés en realizar las mismas con la dedicación necesaria.

2.3 CONTROL ESTADÍSTICO DE LOS PROCESOS (SPC)

2.3.1 ANTECEDENTES

El control estadístico de procesos o SPC por sus siglas en inglés (Statistical Process Control) se puede definir como el conjunto de todas las herramientas tanto estadísticas como ingenieriles que se utilizan para medir, monitorizar, controlar y mejorar la calidad de los procesos.

El inicio de este campo se remonta a la década de 1920 cuando Walter A. Shewhart desarrolló los primeros gráficos de control mientras trabajaba en Bell Telephone Laboratories. Estos gráficos serían posteriormente perfeccionados por Edwards Deming y Joseph Juran y pasarían a convertirse en la herramienta básica del control estadístico de procesos.

La industria Japonesa fue la primera en utilizar estos métodos para conseguir realizar mejoras en sus diferentes sectores consiguiendo grandes resultados, de modo que en la década de 1970 la industria Estadounidense estaba sufriendo ya una fuerte competencia proveniente de Japón. Fue entonces cuando los Estados Unidos empezaron a interesarse

por el control estadístico de procesos y a incorporarlo en sus empresas ayudando de este modo a su desarrollo.

2.3.2 PRINCIPIOS BÁSICOS

En cualquier proceso de producción existen, independientemente de lo bien diseñado que esté, varias causas que generan una variabilidad natural. Esta variabilidad natural es el efecto de pequeñas variaciones aleatorias que no se pueden identificar y que además son muy difíciles de evitar mientras se siga utilizando el mismo proceso. Estas variaciones que generan una variabilidad lo suficientemente pequeña como para aceptar que se está operando con un buen grado de productividad se denominan causas comunes. Un proceso que está operando únicamente con causas comunes como causas de variabilidad se dice que está bajo control. Cuando un proceso está bajo control da lugar a una distribución estable, y por tanto, previsible.

Existe otro tipo de variabilidad que puede estar presente en los procesos de producción. Esta variabilidad es mayor que la generada por las causas comunes y habitualmente lleva consigo la no aceptación del nivel de productividad de los procesos. Las causas que generan este tipo de variabilidad, que no es causada por causas comunes, se denominan causas asignables. Un proceso que opera en presencia de causas asignables se dice que está fuera de control. Cuando un proceso está operando fuera de control experimenta una modificación en la distribución de producción y por tanto el proceso se vuelve imprevisible.

<i>Causas Comunes</i>	<i>Causas Especiales</i>
<i>Originadas por muchas fuentes de poca importancia</i>	<i>Originadas por pocas fuentes individualmente importantes</i>
<i>Tienen carácter permanente</i>	<i>Tienen carácter puntual e irregular</i>
<i>Dan lugar a una distribución estable, y por tanto, previsible</i>	<i>Modifican la distribución de la producción. Proceso imprevisible.</i>
<i>Son las únicas presentes cuando el proceso está bajo control.</i>	<i>Determinan que el proceso esté fuera de control.</i>
<i>Su corrección exige actuaciones a nivel de dirección</i>	<i>Se corrigen mediante actuaciones locales.</i>

Ilustración 5: Causas comunes y especiales de variabilidad. Referencia: Control estadístico de la calidad. Fermín Mallor.

2.3.3 GRÁFICOS DE CONTROL

Los gráficos de control son diagramas ordenados por tiempo de la característica de calidad que se pretende estudiar, con los cuales podemos determinar si el proceso es estable o se encuentra fuera de control.

Existen diferentes tipos de gráficos de control centrados en diferentes pautas de variabilidad pero todos ellos tienen características comunes y se interpretan de la misma manera.

Los gráficos de control tienen un valor nominal o línea central que representa el valor medio de la característica de calidad. Hay además otras dos líneas horizontales correspondientes al Límite Superior de Control o LSC y al Límite Inferior de Control o LIC.

Un valor que se encuentre dentro de los límites de control indicará que el proceso se encuentra bajo causas comunes de variación, es decir, que está bajo control, mientras que un valor que se encuentre fuera de dichos límites, indicará que el proceso está mostrando causas asignables de variación y que por lo tanto está fuera de control.

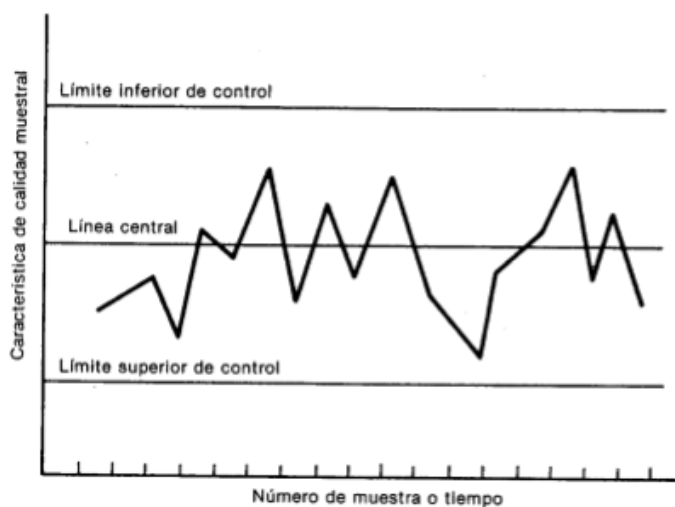


Ilustración 6: Gráfico de control. Referencia: Control estadístico de la calidad. Fermín Mallor.

Tomando W como una estadística muestral de una característica de calidad, tendremos que:

$$LSC = \mu_W + k \sigma_W$$

$$\text{Línea central} = \mu_W$$

$$LIC = \mu_W - k \sigma_W$$

Ilustración 7: Modelo general para gráfico de control. Referencia: Control estadístico de la calidad. Fermín Mallor.

Siendo:

- μ_W = media de W
- σ_W = desviación típica de W
- K = distancia entre los límites de control expresada en desviaciones típicas.

Al hacer uso de los gráficos de control cabe la posibilidad de incurrir en el error. Existen dos tipos de error:

- Error de tipo I: Se produce cuando, basándose en un valor que está ubicado fuera de los límites de control, se entiende que el proceso está fuera de control, cuando en realidad se trata de un efecto aleatorio. Es decir, se rechaza un lote válido.
- Error de tipo II: Se produce cuando se llega a la conclusión de que el proceso se encuentra bajo control ya que solo está afectado por causas comunes cuando en realidad está fuera de control. Es decir, se acepta un lote no válido.

2.3.4 TIPOS DE GRÁFICOS DE CONTROL

Los gráficos de control pueden dividirse en dos tipos. Por un lado es conveniente expresar las características de calidad a través de una media y una variabilidad. Los gráficos de control utilizados para observar la media y variabilidad de la distribución de un proceso son los gráficos de control para variables. Por otro lado existen características de calidad que no se miden a través de una escala continua o cuantitativa. En estos casos, es posible entender cada unidad producida como conforme o disconforme con las especificaciones para la característica de calidad, llamada atributo. Los gráficos de control utilizados para este tipo de características de calidad se denominan gráficos de control para atributos.

2.3.4.1 GRÁFICOS DE CONTROL PARA VARIABLES

Los gráficos de control para variables están dirigidos a observar la media y la variabilidad de la característica de calidad estudiada. Para observar la media se utilizan los gráficos de control para la media o gráficos \bar{x} . Por otro lado, los gráficos utilizados para la hora de estudiar la variabilidad son, gráficos de control para el recorrido o gráficos R, o gráficos de control para la desviación típica o gráficos S. La diferencia entre los gráficos R y los gráficos S reside en el tamaño muestral, utilizándose el gráfico S cuando la muestra es mayor de diez o doce y utilizándose el gráfico R en caso contrario.

GRÁFICOS DE CONTROL PARA LA MEDIA. GRÁFICOS \bar{X}

El gráfico de control a partir del cual podemos obtener la tendencia de la media se obtiene de la siguiente manera:

$$LSC = \mu_{\bar{x}} + k\sigma_{\bar{x}}$$

$$\text{Línea central} = \mu_{\bar{x}}$$

$$LIC = \mu_{\bar{x}} - k\sigma_{\bar{x}}$$

Siendo:

- $\mu_{\bar{x}}$ = línea central de la gráfica y el promedio de las medias de las distintas muestras tomadas.
- k = distancia entre los límites de control expresada en desviaciones típicas. Puede tomar cualquier valor positivo siendo tres el más común.
- $\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \hat{\sigma} / \sqrt{n}$ = estimación de la desviación típica.

Para poder construir los gráficos de control debemos conocer las medias y las varianzas de sus distribuciones respectivas y al no ser esto posible nos basamos en estimadores.

De este modo la estimación de la media de la población se calcula de la siguiente manera:

$$\hat{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m}$$

La desviación típica se puede expresar como:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \text{Ya que} \quad \sigma = \frac{E(R)}{d_2}$$

De este modo:

$$LSC = \bar{\bar{x}} + \frac{k}{d_2\sqrt{n}} \bar{R}$$

$$\text{Línea central} = \bar{\bar{x}}$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - \frac{k}{d_2\sqrt{n}} \bar{R}$$

Si realizamos el siguiente cambio $A_2 = \frac{3}{d_2\sqrt{n}}$ obtenemos:

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$\text{Línea central} = \bar{\bar{x}}$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

Los valores d_2 y A_2 están tabulados en función del número de observaciones en la muestra.

GRÁFICOS DE CONTROL PARA EL RECORRIDO. GRÁFICOS R

El gráfico de control a partir del cual podemos controlar la variabilidad del proceso se obtiene de la siguiente manera:

$$LSC = \mu_R + k\sigma_R$$

$$\text{Línea central} = \mu_R$$

$$LIC = \mu_R - k\sigma_R$$

Siendo:

- $\mu_{\bar{R}}$ = línea central de la gráfica y el promedio de los recorridos de las distintas muestras tomadas.
- k = distancia entre los límites de control expresada en desviaciones típicas. Puede tomar cualquier valor positivo siendo tres el más común.
- $\hat{\sigma}_{\bar{X}}$ estimación de la desviación típica.

La estimación de la media del recorrido se calculará de la siguiente forma:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m}$$

Si por otro lado, tomamos la amplitud de una variable aleatoria $W = R/\sigma$, sabiendo que sus parámetros solo dependen del tamaño n de la muestra tenemos que:

$$\mu_W = d_2 \quad \sigma_W = d_3$$

Así se obtiene que:

$$\sigma_W = d_3 = \frac{\sigma_R}{\sigma}$$

Y por tanto:

$$\sigma_R = d_3 \sigma = \frac{\bar{R}}{\mu_W} = d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Así los límites del gráfico de control quedan de la siguiente forma:

$$LSC = \bar{R} + kd_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$\text{Línea central} = \bar{R}$$

$$\text{LIC} = \bar{R} - kd_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Si por ultimo tomamos el valor $k=3$ por ser el más común y realizamos los siguientes cambios:

$$D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2}$$

$$D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$$

Obtenemos:

$$\text{LSC} = \bar{R}D_4$$

$$\text{Línea central} = \bar{R}$$

$$\text{LIC} = \bar{R}D_3$$

Los valores d_3 , D_3 y D_4 están tabulados en función del número de observaciones en la muestra.

DIAGRAMA DE CONTROL PARA \bar{X} Y S

Como ya se dijo anteriormente, cuando el tamaño muestral N es mayor de diez resulta beneficioso reemplazar los gráficos de \bar{x} y R por los de \bar{x} y S , donde estimamos directamente la desviación típica en lugar de hacerlo por medio del uso del recorrido.

DIAGRAMA DE S

El diagrama de S queda definido por los siguientes límites:

$$\text{LSC} = \mu_S + k\sigma_S$$

$$\text{Línea central} = \mu_S$$

$$\text{LIC} = \mu_S - k\sigma_S$$

Un estimador insesgado para la media de S , μ_S lo podemos obtener de la siguiente forma:

$$\bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i$$

Por otro lado un estimador insesgado de la desviación típica, σ es $\hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{c_4}$ por tanto se tiene que un estimador insesgado para la desviación típica de S, σ_S es:

$$\hat{\sigma}_S = \hat{\sigma} \sqrt{1 - c_4^2} = \frac{\bar{S}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$

Por tanto los límites del gráfico de control quedan de la siguiente manera:

$$LSC = \bar{S} + k \frac{\bar{S}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$

$$\text{Línea central} = \bar{S}$$

$$LIC = \bar{S} - k \frac{\bar{S}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$

Tomando K=3 podemos tomar las siguientes constantes:

$$B_3 = 1 - \frac{3}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$

$$B_4 = 1 + \frac{3}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$

Quedando así los límites de control como:

$$LSC = B_4 \bar{S}$$

$$\text{Línea central} = \bar{S}$$

$$LIC = B_3 \bar{S}$$

DIAGRAMA DE \bar{X}

El momento en el que se utiliza $\hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{c_4}$ como estimador de σ , se pueden presentar los límites de control del diagrama de \bar{x} como:

$$LSC = \bar{\bar{x}} + \frac{k\bar{S}}{c_4\sqrt{n}}$$

$$\text{Línea central} = \bar{\bar{x}}$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - \frac{k\bar{S}}{c_4\sqrt{n}}$$

Tomando k=3 por ser valor más usual definimos la siguiente constante:

$$A_3 = \frac{3}{c_4\sqrt{n}}$$

Y de este modo los límites del gráfico de control de \bar{x} quedan:

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_3\bar{S}$$

$$\text{Línea central} = \bar{\bar{x}}$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - A_3\bar{S}$$

2.3.4.2 GRÁFICOS DE CONTROL PARA ATRIBUTOS

Como ya se dijo, existen características de calidad que no se miden a través de una escala continua o cuantitativa. A la hora de trabajar con este tipo de características, el artículo estudiado se clasifica como conforme o disconforme. Para realizar esta clasificación, se pueden utilizar diferentes gráficos de control centrados en estas características denominadas atributos.

GRÁFICO P

El gráfico p o gráfico para la proporción de productos o servicios disconformes sirve para controlar la producción de piezas defectuosas que genera el proceso

En el caso de las gráficas p el muestreo implica como ya se ha dicho una decisión de conforme o disconforme, de sí o no. Es decir, la distribución estadística fundamental se basa en la distribución binomial. Sin embargo, cuando los tamaños de muestra son grandes la distribución normal proporciona una buena aproximación.

Por tanto, sabiendo que el número de disconformidades en la muestra se distribuye normalmente de la siguiente forma $D \sim N(np, \sqrt{np(1-p)})$ y que la proporción de piezas disconformes se calcula como $\hat{p} = \frac{D_i}{n_i}$, sabemos que la proporción de piezas defectuosas se distribuye de la siguiente forma:

$$\hat{p} \sim N\left(p, \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}\right)$$

De este modo los límites del gráfico p se obtienen del siguiente modo:

$$LSC = p + k \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

$$\text{Línea central} = p$$

$$LIC = p - k \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

Cuando p no es conocido este se debe estimar mediante $\bar{p} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m p$ quedando así el gráfico de control de la siguiente manera:

$$LSC = \bar{p} + k \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

$$\text{Línea central} = \bar{p}$$

$$LIC = \bar{p} - k \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

También es posible realizar el gráfico NP, que es un gráfico de control para $np = D$, es decir, el número de defectos en una muestra.

GRÁFICO C

En el gráfico c, o gráfico de control para el número de defectos, se toman muestras de tamaño n y se estudia el número de defectos en el conjunto n de piezas.

El número de defectos en la muestra, c , se ajusta a una distribución de Poisson. Por tanto utilizando la aproximación a la normal de la distribución de Poisson se obtiene:

$$c \sim N(c, \sqrt{c})$$

Y de este modo los límites del gráfico de control:

$$LSC = c + k\sqrt{c}$$

$$\text{Línea central} = c$$

$$LIC = c - k\sqrt{c}$$

Cuando c no es conocido este se debe estimar mediante $\hat{c} = \bar{c} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m c$ quedando así el gráfico de control de la siguiente manera:

$$LSC = \bar{c} + k\sqrt{\bar{c}}$$

$$\text{Línea central} = \bar{c}$$

$$LIC = \bar{c} - k\sqrt{\bar{c}}$$

También es posible realizar el gráfico U, que es un gráfico de control para $U = \frac{c}{n}$, es decir, el número de defectos en una unidad.

2.4 AMFE

El Análisis Modal de Fallos y Efectos es una metodología que se aplica a la hora de diseñar productos servicios o procesos. Su función es estudiar los posibles fallos futuros para más tarde clasificarlos según su importancia.

Este método también puede encontrarse como AMFEC (Análisis Modal de Fallos, Efectos y su Criticidad).

2.4.1 ANTECEDENTES

La metodología AMFE fue creada a finales de los años 40 con el objetivo de introducir su uso en las fuerzas armadas de los Estados Unidos. Con el tiempo paso a ser utilizada tanto en el desarrollo aeroespacial (programa APOLO) como en la industria automovilística donde fue iniciada de la mano de Henry Ford.

Actualmente dicha metodología es utilizada en una amplia variedad de industrias, desde la industria alimentaria hasta la industria del software aunque una de las industrias en la que su utilización está más extendida sigue siendo la industria del automóvil. Habitualmente el objetivo que se persigue con la utilización de esta metodología es la detección de fallos que pueden ocurrir y que tendrán repercusiones importantes respecto a los resultados esperados.

2.4.2 INTRODUCCIÓN

El AMFE lleva a cabo una sistematización del estudio de un proceso o de un producto, es decir, identifica las zonas de fallos potenciales y elabora distintos planes para eliminar estos fallos. Cabe destacar que este método es compatible con la utilización simultánea de otros tipos de control de la calidad.

Una característica destacable del método AMFE es la capacidad de detección de fallos producidos por los conocidos como “clientes” que más adelante se especificará a qué tipo de usuarios engloba.

Es sabido que la mayoría de fallos materiales suelen encontrarse relacionados con su fase de diseño, y por tanto cuanto más se tarde en detectar dichos fallos mayor será la pérdida que los mismos generan.

2.4.3 DEFINICIONES FUNDAMENTALES

Para el correcto entendimiento del método es necesario realizar una serie de definiciones distintos términos utilizados en el AMFE.

Cliente o usuario

Se refiere al usuario final del producto fabricado o al destinatario del resultado del proceso o de parte del mismo que ha sido analizado. Es decir, el cliente dependerá de la fase del proceso en la que se esté aplicando el método.

Uno de los aspectos principales del método es asegurar la satisfacción de las necesidades de los usuarios, y para saber si esto se está cumpliendo o no, existen dos herramientas:

- Cuestionarios de satisfacción de los clientes.
- Doble matriz de información.

Como ya se ha mencionado, a través de estas herramientas es posible conocer si se están cumpliendo o no las especificaciones de los clientes.

Producto

El producto puede ser desde una pieza, un conjunto de ellas, el producto final o un proceso. Debe quedar perfectamente limitado aquello que se quiere analizar y la función que se desea realizar, a esta fase se la conoce como identificación del elemento y se debe también determinar los subproductos que forman el producto en sí en caso de haberlos.

Detectabilidad

Es un concepto esencial en este método. Establece la probabilidad que existe de que un fallo se produzca en un producto o en un proceso y no sea detectado pasando así a etapas posteriores.

La situación más crítica que puede darse consiste en no detectar un fallo llegando este al último destinatario o cliente.

Frecuencia

Este concepto mide la repetitividad de un fallo. También se denomina probabilidad de aparición del fallo.

Gravedad

Establece el daño que se espera que un fallo produzca según la percepción del cliente.

Índice de prioridad de riesgo (IPR)

Este índice es el resultado del producto de la frecuencia, la gravedad y la detectabilidad, teniendo en cuenta que los valores de dichos factores serán numéricos y adimensionales. De este modo, este factor permite establecer las prioridades en cuanto a las intervenciones.

$$IPR = D \times G \times F$$

Siendo:

- D: detectabilidad
- G: gravedad
- F: frecuencia

2.4.4 DESARROLLO DEL MÉTODO

En el presente apartado se detallan los pasos necesarios a la hora de cumplimentar la hoja de análisis para llevar a cabo el método AMFE.

1. Denominación del componente e identificación

Se deben identificar el producto, proceso o parte del proceso que va a ser analizado. En caso de existir subconjuntos dentro del conjunto a producto principal estos deben detallarse también. Utilizar códigos numéricos puede ser beneficioso para evitar confusiones entre componentes.

2. Partes del componente o proceso

Esta fase es distinta en función de si se está analizando un producto o un proceso.

En caso de analizarse un producto deben identificarse todos los subproductos que forman parte del producto analizado, y deben detallarse también las funciones que realiza cada uno de estos subproductos.

En el caso de analizarse un proceso deben identificarse todas las operaciones que se realizan a lo largo del proceso analizado. Dentro de estas operaciones se consideran todas las de aprovisionamiento, producción, embalaje, almacenado y transporte.

3. Fallo o Modo de fallo

Se define el Modo de fallo como la forma en la que un producto o proceso puede potencialmente fallar a la hora de satisfacer las necesidades o especificaciones del cliente.

Los Modos de fallo deben detallarse de forma técnica, es decir, no detallarlos como el cliente los percibe. Es necesario saber que los errores humanos de acción u omisión no se consideran en principio modo de fallo del componente analizado.

Los fallos pueden no ser fácilmente detectables y por tanto no encontrarse inmediatamente lo cual es un aspecto importante que debe detallarse.

4. Efectos del fallo

Son aquellas consecuencias que los fallos tienen sobre el producto, cómo estos repercuten sobre el sistema y cómo el cliente los detecta. Siempre deben detallarse en relación al rendimiento del producto o proceso, es decir, tal y como los describiría el cliente.

Si un modo de fallo causa diversos efectos sobre el producto deberán tenerse en cuenta, a la hora de evaluar, los más graves.

5. Causas del modo de fallo

Son todas aquellas debilidades existentes en el diseño que tienen como consecuencia el propio modo de fallo. Se debe hacer hincapié en la necesidad de asignar a cada modo de fallo todas y cada una de las causas existentes que pueden desencadenarlo, ya que normalmente un modo de fallo puede ser desencadenado por dos o más causas.

Además se debe dejar clara la existencia (en caso de haberla) de las distintas relaciones entre las diferentes causas del modo de fallo. El objetivo de esto no es otro sino facilitar el desarrollo de medidas correctivas.

6. Medidas de ensayo y control previstas

Es habitual describir en los AMFE las medidas de control y verificación utilizadas a la hora de asegurar la calidad de producto o proceso. El correcto cumplimiento y despliegue de estas medidas disminuirá la aparición de los distintos modos de fallo.

7. Gravedad

Establece la importancia que las consecuencias del modo de fallo van a tener sobre el cliente. Es habitual utilizar escalas de valores del cero al diez ó del cero al cinco, aumentando el valor de la gravedad en caso de aumentar la importancia de los efectos causados por el modo de fallo.

La ilustración 8 es una muestra de una posible clasificación de la gravedad de un modo de fallo.

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, este observaría un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2-3
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema	4-6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9-10

Ilustración 8: Clasificación de la gravedad del modo de fallo según la repercusión en el cliente/usuario.
 Referencia: Ministerio de trabajo y asuntos sociales.

8. Frecuencia

La frecuencia especifica la probabilidad de que una causa que debe especificarse de lugar a un modo de fallo en concreto. A la hora de evaluar la frecuencia se aconseja utilizar datos históricos o estadísticos, para ello es de gran ayuda la existencia de un control estadístico de procesos.

Para disminuir la frecuencia con la que una causa de fallo da lugar a un modo de fallo puede cambiarse el diseño, realizando cambios que permitan disminuir la probabilidad de que el fallo pueda producirse, o aumentar o mejorar aquellos sistemas de control que dificultan que se produzca la causa de fallo.

A continuación en la ilustración 9 se observa una posible clasificación de la escala asociada a la frecuencia con la que una causa específica da lugar a un modo de fallo.

FRECUENCIA	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4-5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6-8
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	9-10

Ilustración 9: Clasificación de la frecuencia de ocurrencia del modo de fallo. Referencia: Ministerio de trabajo y asuntos sociales.

9. Controles

Deben detallarse aquellos controles que se llevan a cabo con el objetivo tanto de prevenir las causas del fallo como de detectar los efectos de estas.

10. Detectabilidad

Como ya se ha explicado en el apartado anterior, la detectabilidad hace referencia a la posibilidad de que una causa o modo de fallo sean detectados con la suficiente antelación. En cuanto a la escala utilizada en el AMFE cabe destacar que el valor asignado a la detectabilidad será mayor cuanto menor sea la probabilidad de detectar la causa o el modo de fallo.

En la ilustración 10 adjuntada a continuación se observa una escala de detectabilidad que podría ser utilizada en un AMFE.

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción	4-6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final	9-10

Ilustración 10: Clasificación de la facilidad de detección de modo de fallo. Referencia: Ministerio de trabajo y asuntos sociales.

11. Índice de prioridad de riesgo (IPR)

Este índice, como ya se ha explicado, es el resultado del producto de la frecuencia, la gravedad y la detectabilidad. Debe ser calculado para todas las causas de fallo conocidas y se debe tener en cuenta que para este índice no se establece una clasificación de importancia, pese a todo se suele utilizar como referencia que un IPR menor de 100 no necesitaría una intervención a no ser que esta fuese de muy sencilla implantación.

12. Acción correctora

En este apartado se realiza la pertinente descripción de las acciones correctoras que se proponen.

Habitualmente estas acciones son de tres tipos:

- Realización de cambios en el diseño de producto, servicio o proceso.
- Realización de cambios en el proceso de fabricación utilizado.
- Aumento de las acciones de control o inspección.

Como norma general es más beneficioso, desde un punto de vista económico, realizar acciones cuyo objetivo sea reducir la probabilidad de ocurrencia de los distintos fallos en lugar de utilizar los recursos disponibles en mejorar la detección de fallos.

Cabe destacar que las acciones correctoras se dirigirán a la solventación de aquellas causas de fallo que den lugar a los fallos con una mayor gravedad.

13. Responsable y plazo

Como último apartado se debe indicar en esta sección quién es el responsable de cada una de las acciones previstas así como las fechas previstas de implantación para las mismas.

14. Acciones implantadas

Este apartado no es de obligada utilización aunque suele ser beneficioso llevarlo a cabo con el objetivo de llevar y facilitar el seguimiento de las acciones llevadas a cabo y de las soluciones adoptadas.

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E.)																
AMFE DE PROYECTO <input type="checkbox"/>		AMFE DE PROCESO <input type="checkbox"/>			DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE / PARTE DEL PROCESO		CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE			Hoja:						
NOMBRE Y DPTO. DE LOS PARTICIPANTES Y/O PROVEEDOR:					COORDINADOR: (Nombre / Dpto.)			MODELO/SISTEMA/FABRICACIÓN			FECHA INICIO: FECHA REVISIÓN:					
OPERACIÓN O FUNCIÓN	FALLO N°	FALLOS POTENCIALES			ESTADO ACTUAL					ACCIÓN CORRECTORA	RESPONSABLE / PLAZO	SITUACIÓN DE MEJORA				
		MODOS DE FALLO	EFECTOS	CAUSAS DEL MODO DE FALLO	MEDIDAS DE ENSAYO Y CONTROL PREVISTAS	F	G	D	IPR			ACCIONES IMPLANTADAS	F	G	D	IPR
Soldadura MIG	1.1	Falta soldadura	Retrabajos, ruidos, falta de rigidez	Defectos de acoplamiento	Ninguna	8	8	2	128	Previstos grupos y aprietes en zona MIG	Proceso Chapa / Anteproyecto					
	1.2			Pestañas fuera de geometría	Ninguna	8	8	2	128	Pestañas bien diseñadas para gar antizar geometría	Proyectos / Anteproyecto					
	1.3	Soldadura defectuosa	Agujeros en chapa	Desacoplamiento chapas	Ninguna	8	8	2	128	Garantizar geometrías y acoplamientos	Proceso Chapa / Anteproyecto					
	1.4	Mala calidad de soldadura	Retrabajos, ruidos, grietas	Parámetros de soldadura incorrectos	Ninguna	2	9	8	144	Acceso restringido a los parámetros de máquina. Control periódico de los mismos.	Proceso Chapa / Anteproyecto					
	1.5	Proyecciones suciedad poros	Óxido, suciedad en bajos en pinturas	Falta de gas. Malos parámetros	Ninguna	6	8	7	336	Incorporar medios en la estación para eliminar suciedad.	Proceso Chapa / Anteproyecto					
	1.6	Deslumbramiento	Problemas de visión de los operarios	Ausencia de vallas oscuras	Ninguna	10	8	2	160	Colocar pantallas de protección en zonas de soldadura MIG	Proceso Chapa / Anteproyecto					
	1.7			Ausencia de puertas oscuras	Ninguna	10	8	2	160	Colocar puertas de protección para no deslumbrar	Proceso Chapa / Anteproyecto					
	1.8	Exceso de humos	Exposición a agentes químicos	Campanas de humos ubicadas muy alejadas de la zona de emanación del humo.	Ninguna	6	8	4	192	Colocar campanas de aspiración justo al lado de la fuente del humo.	Proceso Chapa / Anteproyecto					
	1.9	Exceso de fuego	Proyecciones	No hay protección	Ninguna	6	5	6	180	Caja de latón que protege chapa y la máquina, todo ello en sus partes vistas.	Proceso Chapa / Anteproyecto					

Ilustración 11: Ejemplo de formulario AMFE. Referencia: Ministerio de trabajo y asuntos social

2.5 TAGUCHI

2.5.1 ANTECEDENTES

Gen'ichi Taguchi fue un ingeniero japonés que desde la década de 1950 desarrolló un sistema de mejora de la calidad conocido como Taguchi. El sistema ideado por Taguchi supone un cambio respecto a los sistemas de control de calidad tradicionales en los que se hacía hincapié en el uso de herramientas de control *On Line*.

2.5.2 INTRODUCCIÓN

Los puntos más importantes y básicos del sistema de calidad Taguchi son los siguientes:

1. Una de las características de calidad más importantes de los productos realizados es la pérdida total que es producto ocasiona a la sociedad. Esto es una herramienta para evaluar de forma numérica la pérdida de calidad de un producto o proceso con respecto a su calidad óptima.
2. La mejora continua de la calidad y de los costes (ya sean de diseño del producto, de manufacturación o de operación) es imprescindible en cualquier economía competitiva.
3. Un programa cuyo objetivo es la mejora continua de la calidad, conlleva una búsqueda constante de reducción de la variabilidad de las características del producto con respecto a sus valores óptimos.
4. La pérdida que se da a causa de la variabilidad en el proceso de fabricación es proporcional al cuadrado de la desviación típica de la característica de calidad estudiada respecto al valor nominal.
5. Tanto la calidad como el coste final de un producto están marcados en gran parte por el diseño realizado para el producto y su proceso.
6. La variabilidad tanto del proceso como del producto pueden reducirse mediante el efecto no lineal de los parámetros del producto y del proceso sobre las características de la calidad.
7. Los experimentos planificados estadísticamente pueden utilizarse para determinar los parámetros del producto o proceso que reducen la variabilidad de la fabricación de los mismos.

2.5.3 CONTROL DE CALIDAD OFF LINE Y ON LINE

Una de las características principales del método Taguchi es el hecho de la distinción de dos aspectos en el estudio de la calidad. Estos aspectos son la calidad On line y la calidad Off line.

Por su parte, tanto la etapa del estudio de calidad Off line como On line están divididas in diferentes subetapas. Estas subetapas quedarán explicadas a continuación.

Calidad Off Line

La etapa del estudio de la calidad On Line está formada por dos estudios que a su vez realizan tres pasos bien diferenciados. Las etapas a explicar son:

- **Diseño del producto:** El objetivo de esta sección es elaborar un nuevo producto, o bien, modificar uno ya existente, para de este modo satisfacer las necesidades del cliente. Con el fin de conseguir esto Taguchi lleva a cabo 3 fases que son:
 - **Diseño del sistema:** Se diseña un prototipo que cumpla con los requisitos del cliente. Esto incluye la selección tanto de los materiales como de las tecnologías necesarias para llevar a cabo la fabricación del producto. Se busca conseguir las mejores tecnologías que permitan cubrir las necesidades del cliente con el coste más bajo.
 - **Diseño de los parámetros:** el objetivo de esta fase es minimizar los costes de fabricación del producto creando diseños robustos que no se vean afectado por factores de ruido, que son fuentes de variación en las características del producto. Mediante el diseño de experimentos se establecen niveles en los factores controlables, lo que permite minimizar los efectos producidos por los factores de ruido.
 - **Diseño de tolerancias:** En esta fase se busca establecer unas tolerancias, a los parámetros previamente creados, lo suficientemente amplias para minimizar costes pero lo suficientemente ajustadas como para mantener las características del producto dentro de las especificaciones.
- **Diseño del proceso:** Al igual que el diseño del producto, el diseño del proceso está formado por las tres fases antes citadas, solo que con:
 - **Diseño del sistema:** se realiza paralelamente al diseño del sistema realizado dentro del diseño de producto. En este caso el objetivo principal es establecer el uso de la maquinaria existente así como del proceso.

- Diseño de los parámetros: se detallan los niveles apropiados de los factores que se pueden controlar y que intervienen en el proceso de producción.
- Diseño de tolerancias: en este apartado se fijan las tolerancias para los parámetros del proceso que se han identificado como críticos durante la realización del diseño de parámetros.

Calidad On line

Existen tres vías para la realización del control de calidad On line:

- Diagnóstico y ajuste del proceso: se examina el proceso en intervalos de tiempo conocidos y regulares, de este modo se observa si es necesario realizar ajustes o correcciones, y en caso de serlo estas se llevan a cabo.
- Predicción y corrección: Se mide en intervalos conocidos y regulares un parámetro cuantitativo o numérico del proceso, de este modo es posible observar tendencias que se den en el mismo. Estas observaciones permiten detectar situaciones en las que el proceso se encuentra demasiado alejado de los valores nominales, siendo por tanto necesario realizar reajustes y correcciones.
- Medición y acción: Se realiza el control de la calidad mediante inspección de cada unidad producida. Las unidades que se encuentren defectuosas se reparan en caso de ser posible o se eliminan. Este procedimiento de control es el más costoso ya que no previene que los defectos ocurran ni tampoco se asegura que identifique todas las unidades defectuosas.

2.5.4 FUNCIÓN DE PÉRDIDA

La función de pérdida entendida según la metodología Taguchi establece que cualquier desviación que se dé respecto al valor objetivo produce una pérdida en la sociedad. Esto supone una visión diferente a la que existe en la perspectiva tradicional, según la cual solo existe pérdida si la desviación producida excede los límites superior o inferior establecidos.

En oposición a la citada perspectiva tradicional, la metodología Taguchi propone que existe una pérdida de la calidad desde la perspectiva del cliente, cuando el producto se desvía de la especificación deseada pese a seguir dentro de los límites de especificación.

Esta idea procede del pensamiento de que existe una mayor pérdida de calidad entre dos productos válidos según la perspectiva tradicional, uno con las especificaciones objetivo

y otro con las especificaciones cerca de los límites, que entre uno dentro de las especificaciones pero cerca de los límites, y otro que las excede por muy poco.

De este modo la función de pérdida de la metodología Taguchi se representa mediante una expresión cuadrática, en la cual cuanto mayores sean las desviaciones respecto al valor objetivo mayores sean las pérdidas de calidad.

Visualmente la función pérdida es una curva como la que se presenta en la ilustración 12.

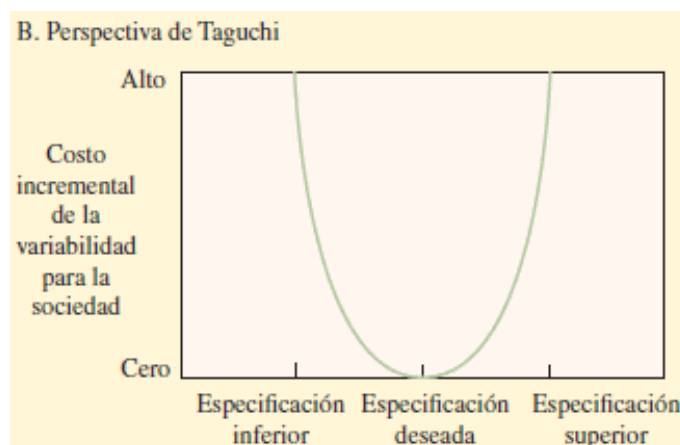


Ilustración 12: Función de pérdida. Referencia: Gestión de operaciones.

La expresión utilizada es la siguiente:

$$L(X) = \frac{c}{d^2} (X - T)^2$$

Siendo:

- X = Valor referente a la característica de calidad estudiada.
- T = Valor objetivo de dicha característica de calidad.
- C = pérdida producida por una unidad en el límite de especificación.
- d = Límite de especificación superior.

2.6 OCHO DISCIPLINAS PARA LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

2.6.1 ANTECEDENTES

El método de mejora de la calidad de las ocho disciplinas para la resolución de problemas, también conocido como 8D, fue utilizado en primer lugar por el gobierno de los Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial pese a que en aquel momento se referían al método de otro modo.

Más adelante este método ganaría popularidad al ser utilizado por Ford en las décadas de los 60 y los 70. A partir de aquel momento esta metodología ha sido una referencia dentro del mundo de la calidad en industrias tan desarrolladas como la del automóvil.

2.6.2 MÉTODO

Las Ocho disciplinas para la resolución de problemas es un método de mejora de la calidad cuyo objetivo es la resolución de problemas. Este método también se conoce como 8D.

Las ocho disciplinas que se llevan a cabo durante la realización del método son las siguientes:

- D1: Formación de un grupo de expertos que cubran todas las funciones posibles para encontrar una solución al problema.

El objetivo de esta fase es establecer un equipo multidisciplinario que conozca y tenga experiencia en diferentes campos para entender los distintos problemas, y que tenga la autoridad de implementar las posibles soluciones que se consideren necesarias.

- D2: Descripción del problema.

Se debe realizar una explicación clara y concisa de todos los aspectos del problema. La información sobre el problema se conseguirá preguntando a los trabajadores directamente implicados, es decir aquellos que trabajan en el área donde el problema está apareciendo.

- D3: Desarrollo de una solución provisional.

En esta fase se busca encontrar una solución temporal que permita dar tiempo a encontrar la raíz del problema y solventar de forma definitiva. Se debe tener en cuenta que esta solución no es definitiva, es decir, el equipo de 8D seguirá trabajando a fin de solventar totalmente el problema.

- D4: Análisis de la causa raíz.

El objetivo de esta etapa es encontrar la causa o causas principales de la aparición del problema. Habitualmente encontrarla no es una tarea fácil sino que se debe analizar detenidamente el proceso hasta dar con ella. La causa raíz se identifica finalmente al comprobar que una vez eliminada el problema no vuelve a surgir.

- D5: Desarrollo de soluciones permanentes.

Una vez encontradas las causas raíz se deben estudiar posibles soluciones permanentes que acaben con dichas causas. Una vez implementadas dichas soluciones se debe comprobar que los problemas no vuelven a surgir, y en caso de que reaparezcan se continuará con la búsqueda de acciones correctivas que acaben con el problema de forma permanente.

- D6: Implementar y validar las soluciones.

Una vez se han encontrado las soluciones pertinentes al problema estudiado, estas se deben implantar realizando posteriormente un seguimiento para asegurar el correcto funcionamiento de las mismas.

- D7: Prevención

El apartado de prevención consiste en la recopilación de toda aquella información que se ha obtenido a lo largo de todas las etapas realizadas. Esta información podrá ser utilizada en el caso de que en diferentes áreas aparezcan problemas similares, o en el caso de que el mismo problema reapareciese.

- D8: Reconocimiento de la labor del equipo y cierre del problema.

Una vez que se ha comprobado que la causa del problema ha sido eliminada totalmente se puede cerrar el problema. En ese momento se debe eliminar la solución tomada en la etapa D3, a no ser que sea parte de la solución permanente.

Una vez realizado esto, se deben reconocer las contribuciones de cada uno de los miembros del equipo.

3. ANÁLISIS PRÁCTICO

3.1 ANÁLISIS DE ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS

En el presente apartado se va a realizar un análisis de la media de utilización de cada una de las herramientas de mejora de la calidad tratadas, dentro de un grupo de empresas industriales españolas, en función de una serie de características consideradas. Las herramientas que se van a analizar son:

- Seis sigma.
- Control estadístico de procesos
- Metodología 5 S
- AMFE
- Taguchi
- 8 D

Las características que se consideraran dentro del estudio son:

- Año de fundación de la empresa
- Tipo de producto fabricado
- Tamaño de la plantilla
- Empresa exportadora o no exportadora
- Ventaja competitiva utilizada
- Sector caracterizado según su intensidad tecnológica

3.1.1 AÑO DE FUNDACIÓN DE LA PLANTA

En este apartado se va a realizar un análisis del grado de utilización de distintas herramientas de mejora de la calidad en diferentes empresas industriales españolas, clasificadas en función del año en el que fueron fundadas.

Los datos utilizados para el análisis englobaban respuestas de empresas fundadas desde 1790 hasta 2005.

Dichos datos se han agrupado en cuatro bloques siendo los puntos de división entre ellos 1940, 1962 y 1984.

En la tabla 1 se presenta la división realizada por grupos y el número de ellas en cada uno. Al realizar la pertinente división se ha procurado que cada grupo tenga una cantidad considerable de empresas, para disminuir los posibles errores que podrían provocarse por analizar pocas unidades.

	Número de empresas
Hasta 1940	60
1940-1962	67
1962-1984	174
1984-2005	94
Perdidos	6
Total	401

Tabla 1: Grupos realizados por año de fundación.

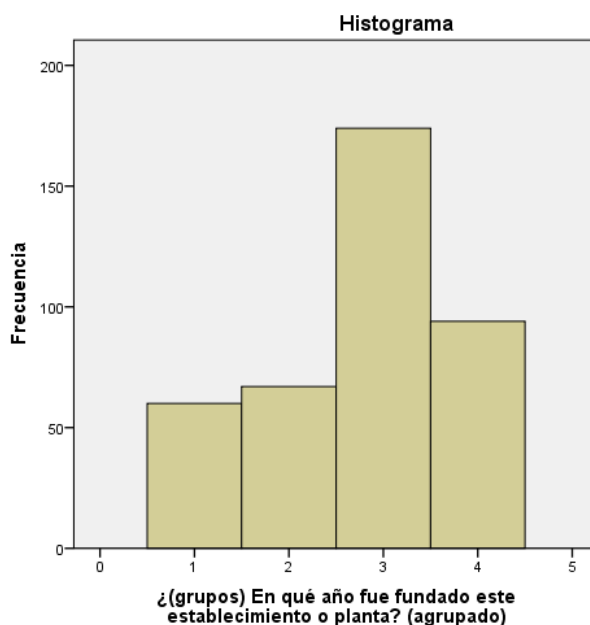


Ilustración 13: Histograma agrupaciones por año de fundación. Referencia: SPSS

3.1.1.1 EMPRESAS FUNDADAS ENTRE 1790 Y 1940

En este apartado se van a analizar las respuestas de las empresas que están dentro del grupo 1, que es el correspondiente a las empresas creadas entre 1790 y 1940.

A continuación en la tabla 2 se presentan el número de respuestas de las que se ha dispuesto para analizar cada tipo de sistema de control de la calidad. Dentro de estas respuestas existen respuestas válidas y otras que no lo son, estas se clasifican como respuestas perdidas.

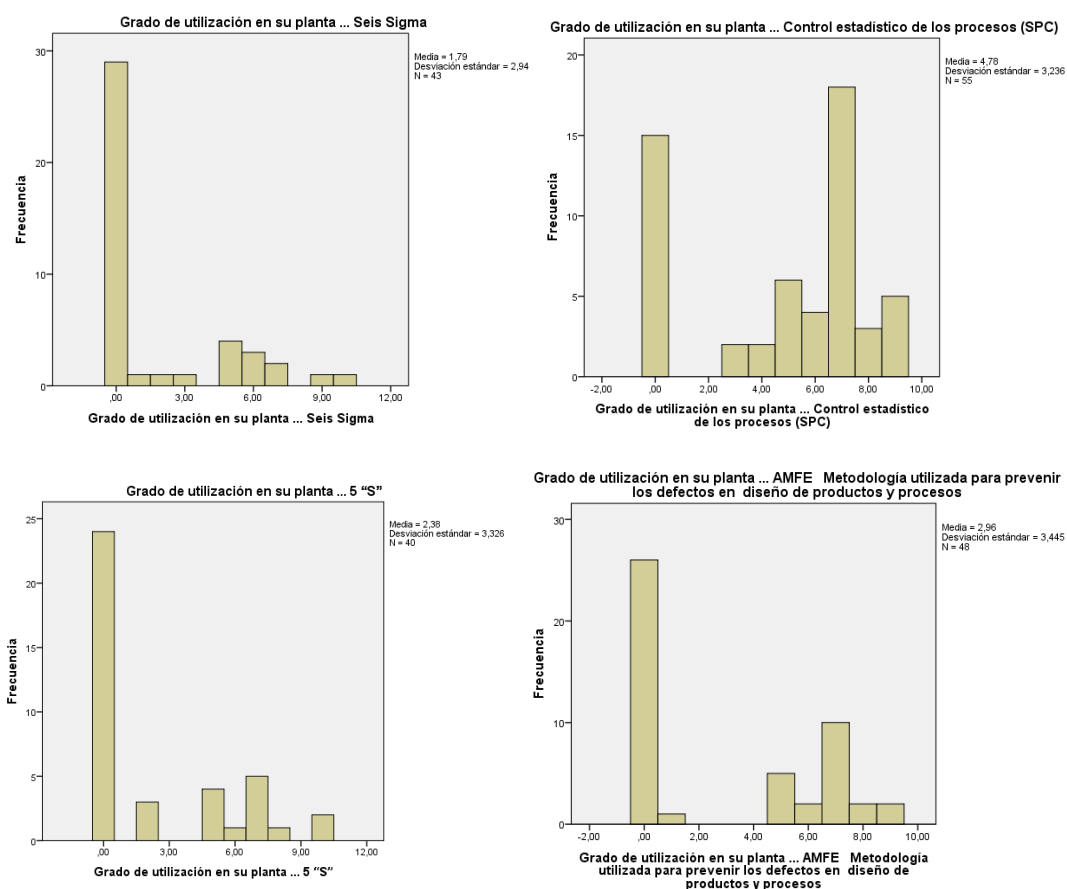
Además de esto, en la tabla 2 también se encuentra especificada la media de las respuestas analizadas para cada uno de los sistemas de control de la calidad estudiados.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Respuestas válidas	43	55	40	48	38	50
Perdidas	23	11	26	18	28	16
Media	1,7907	4,7818	2,375	2,9583	1,4737	3,82

Tabla 2: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fundadas entre 1790 y 1940.

De este modo se puede afirmar que en las empresas estudiadas creadas entre 1790 y 1940 el sistema de control de calidad más utilizado es el control estadístico de los procesos, seguido por la metodología formal de análisis y resolución de problemas (Resto), AMFE, 5S, 6 Sigma y por último Taguchi.

A continuación en la ilustración 14 se presentan los histogramas obtenidos en los análisis de los datos referentes a cada una de las herramientas de mejora de la calidad estudiadas.



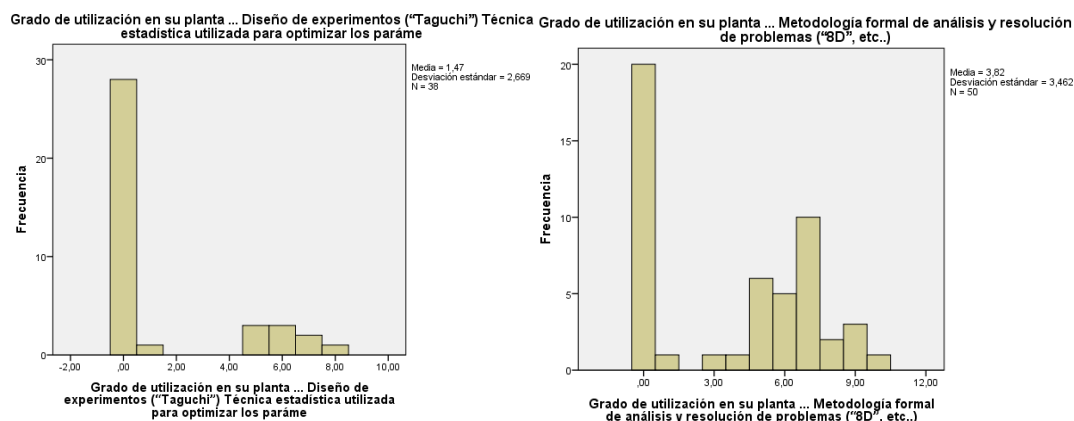


Ilustración 14: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fundadas entre 1790 y 1940. Referencia: SPSS.

3.1.1.2 EMPRESAS FUNDADAS ENTRE 1940 Y 1962

Ahora se van a estudiar los datos correspondientes a las empresas catalogadas en “el grupo 2” correspondiente a empresas creadas entre 1940 y 1962.

En la tabla 3 se presentan las respuestas de las que se ha dispuesto a la hora de realizar los pertinentes análisis. Además se añade la media de utilización calculada para cada una de las distintas herramientas de mejora de la calidad.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Respuestas válidas	50	57	50	57	52	59
Perdidas	17	10	17	10	15	8
Media	1,58	5,3158	2,66	3,9474	1,5962	3,339

Tabla 3: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fundadas entre 1940 y 1962.

De este modo se observa que las herramientas más utilizadas por las empresas creadas entre 1940 y 1962 son, en orden de mayor a menor utilización; control estadístico de procesos; AMFE; metodología formal de análisis y resolución de problemas; 5S; Taguchi y por último seis sigma.

A continuación se presentan los histogramas obtenidos en los análisis de los datos referentes a cada una de las herramientas de mejora de la calidad estudiadas (ilustración 15).

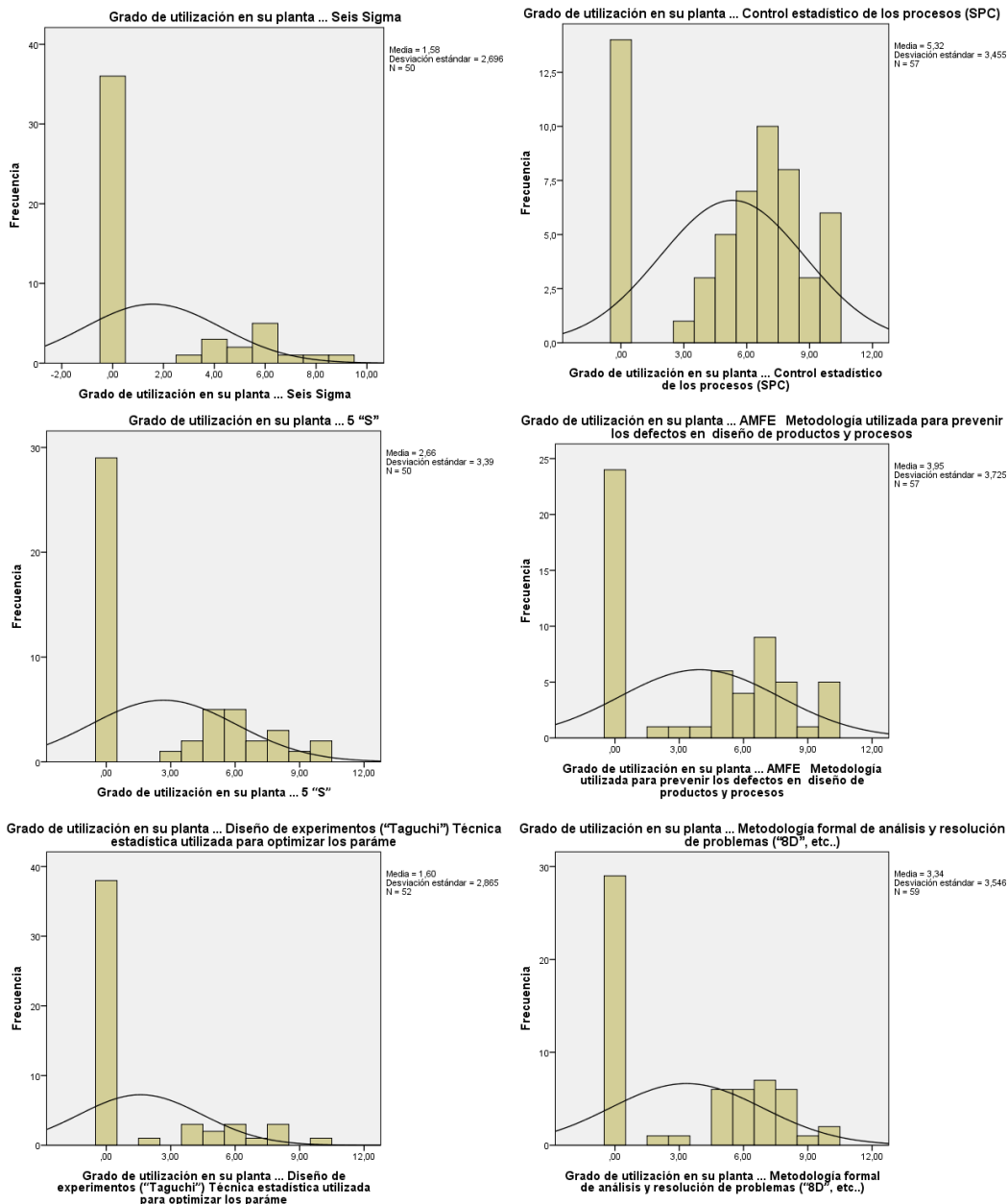


Ilustración 15: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fundadas entre 1940 y 1962. Referencia: SPSS.

3.1.1.3 EMPRESAS FUNDADAS ENTRE 1962 Y 1984

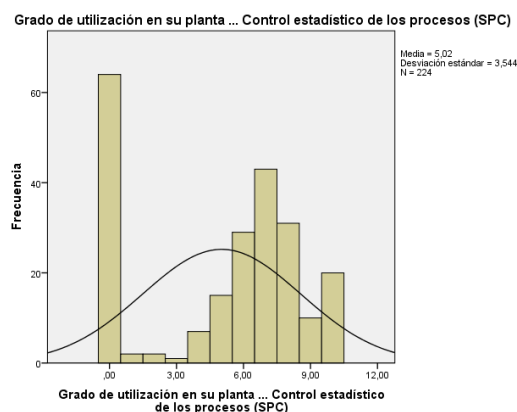
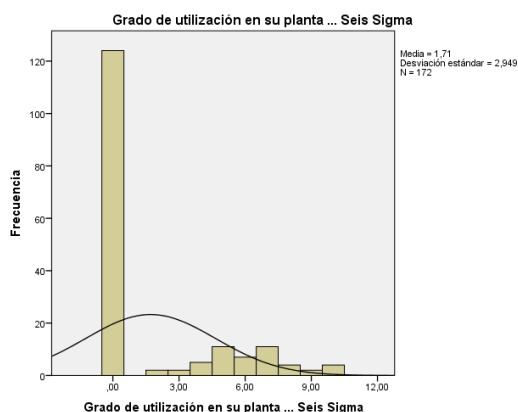
En el presente apartado se analizarán aquellas empresas que fueron formadas entre 1962 y 1984. En la tabla 4, al igual que en los apartados anteriores, se presentan el número de respuestas que han podido ser utilizadas y también aquellas que no han sido válidas para el estudio. Además se añade la media calculada para la utilización de cada una de las herramientas de mejora de la calidad presentadas.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Respuestas válidas	172	224	177	200	172	204
Perdidas	96	44	91	68	96	64
Media	1,7093	5,0223	2,6328	3,54	1,2326	3,4216

Tabla 4: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fundadas entre 1962 y 1984.

Analizando estos valores se puede afirmar que la herramienta más utilizada por las empresas creadas entre 1962 y 1984 es el control estadístico de procesos seguido por AMFE, metodologías formales de análisis y resolución de problemas, 5S, seis sigma y por último Taguchi.

A continuación en la ilustración 16 se presentan los histogramas obtenidos referentes cada una de las herramientas utilizadas



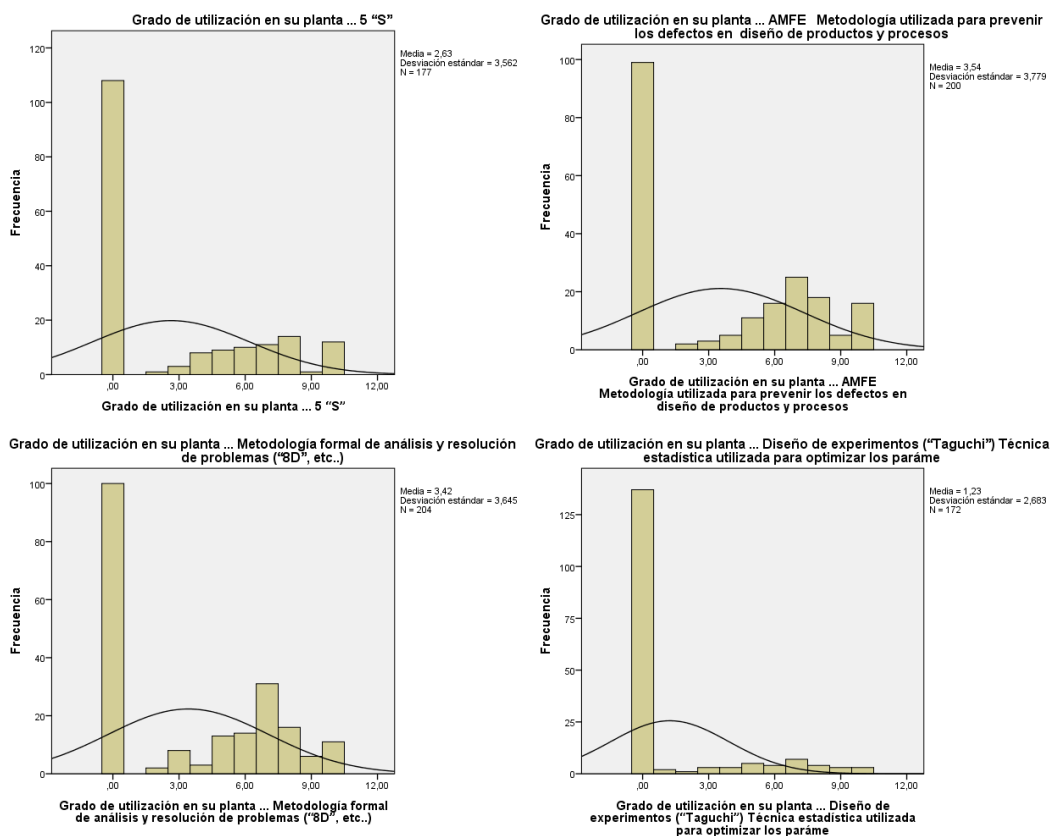


Ilustración 16: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fundadas entre 1946 y 1984. Referencia: SPSS.

3.1.1.4 EMPRESAS FUNDADAS ENTRE 1984 Y 2005

En el presenta apartado se van a estudiar los datos arrojados por aquellas empresas creadas entre 1984 y 2005.

En la tabla 5 se observan, al igual que en los apartados anteriores, el número de datos que han sido utilizados para la realización del análisis, así como aquellos que no han podido utilizarse por no ser válidos. Además se añade la media de utilización de cada una de las herramientas de mejora de la calidad que se están estudiando.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Respuestas válidas	59	76	60	65	57	63
Perdidas	35	18	34	29	37	31
Media	1,5593	4,9079	2,1833	2,8	0,9123	3,3492

Tabla 5: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fundadas entre 1984 y 2005.

De este modo, observando los datos presentados, se puede afirmar que las herramientas más utilizadas por las empresas creadas entre 1984 y 2005 son; Control estadístico de procesos; metodologías formales de análisis y resolución de problemas; AMFE; 5S; Seis sigma y por último Taguchi.

Por último se adjuntan los histogramas realizados a los datos referidos a cada una de las herramientas estudiadas (ilustración 17).

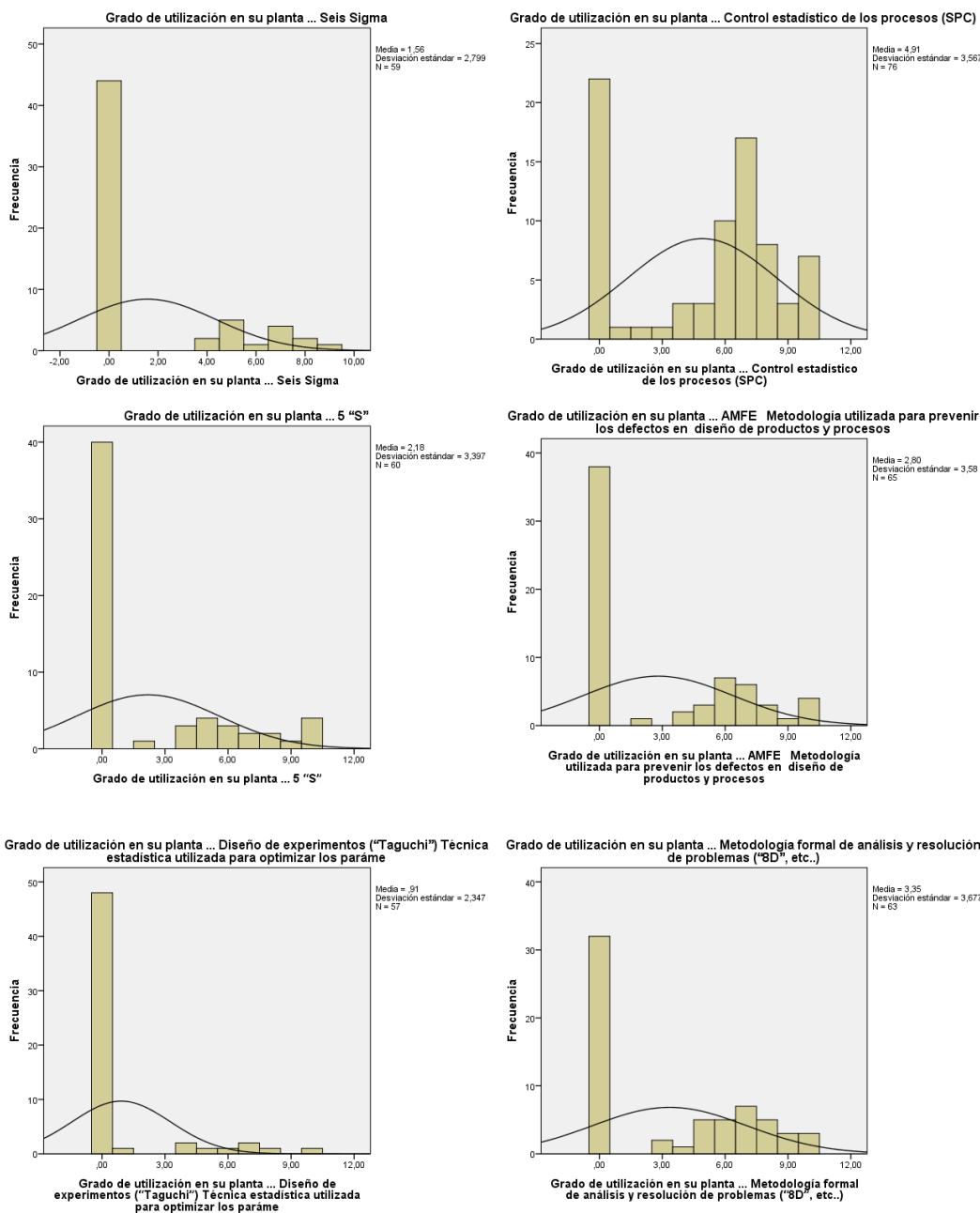


Ilustración 17: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fundadas entre 1984 y 2005. Referencia: SPSS.

3.1.1.5 RECOPIACIÓN DE DATOS

A continuación en la tabla 6 se detallan las medias, calculadas para los datos de utilización de las distintas herramientas de mejora de la calidad, para cada uno de los grupos de empresas previamente estudiados.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Hasta 1940	1,7907	4,7818	2,375	2,9583	1,4737	3,82
1940-1962	1,58	5,3158	2,66	3,9474	1,5962	3,339
1962-1984	1,7093	5,0223	2,6328	1,2326	1,2326	3,4216
1984-2005	1,5593	4,9079	2,1833	0,9123	0,9123	3,3492

Tabla 6: Recopilación de datos en función del año de fundación

De este modo observamos que el orden de utilización de las herramientas de más utilizada a menos es:

1. Control estadístico de procesos (SPC)
2. Metodologías formales de análisis y resolución de problemas (8D, etc)
3. 5 S
4. AMFE
5. Seis sigma
6. Taguchi

3.1.2 TIPO DE PRODUCTOS QUE SE FABRICAN EN EL ESTABLECIMIENTO

En el presente apartado se va a analizar el grado de utilización de las distintas herramientas de mejora de la calidad en función del tipo de producto que fabrican las empresas.

Para realizar la clasificación en función del tipo de producto fabricado se ha considerado que estos productos podían ser de 3 tipos:

- Bienes de consumo
- Bienes intermedios y de equipo
- Bienes de ambos tipos

A continuación en la tabla 6 se especifica el número de empresas fabricantes de cada tipo de bienes de las que se ha dispuesto a la hora de recoger datos.

	Número de empresas
Bienes de consumo	243
Intermedios y de equipo	124
De ambos tipos	34
Total	401

Tabla 7: Grupos realizados por tipo de bienes fabricados.

Analizando los datos presentados se observa que el 60.6 % (243 empresas) de las empresas encuestadas se dedica a la producción de bienes de consumo, mientras que el 30.9 % (124 empresas) realiza bienes intermedios y de equipo y el 8.5 % (34 empresas) fabrica ambos tipos.

A continuación en la ilustración 18 se presenta el histograma referente al número de empresas englobadas por cada uno de los grupos que se han realizado en función del producto que realizan.



Ilustración 18 Histograma agrupaciones por tipo de producto fabricado. Referencia: SPSS.

3.1.2.1 EMPRESAS FABRICANTES DE BIENES DE CONSUMO

El primero grupo que se va a analizar es el correspondiente a aquellas empresas que se dedican a la fabricación de bienes de consumo.

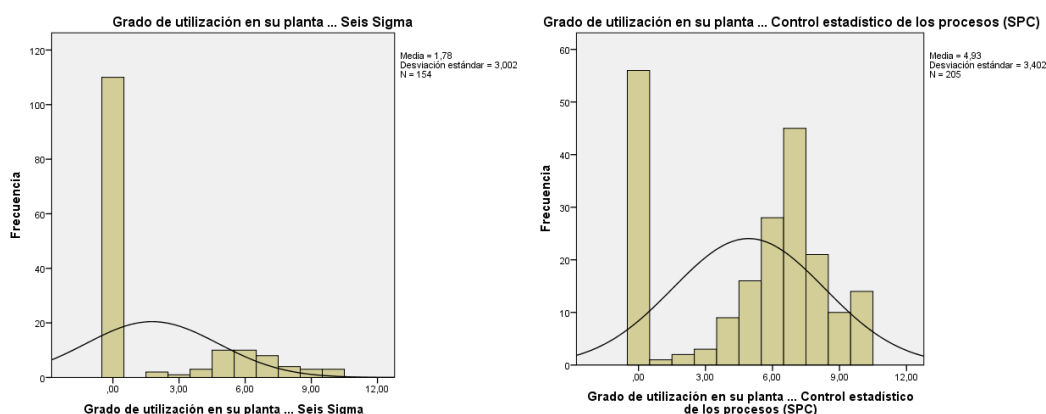
En primer lugar en la tabla 7 se detallan el número de respuestas de las que se ha dispuesto a la hora de realizar el análisis. Además se especifica también el número de respuestas perdidas, es decir no válidas, que se encontraron en los datos y que por tanto no pudieron ser utilizadas. Además también se puede encontrar la media calculada para el grado de utilización de cada una de las distintas herramientas de mejora de la calidad.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Respuestas válidas	154	205	157	186	155	193
Perdidas	89	38	86	57	88	50
Media	1,7792	4,9317	2,3503	3,1667	1,4	3,6062

Tabla 8: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fabricantes de bienes de consumo.

Así estudiando los datos se observa que en aquellas empresas dedicadas a la fabricación de bienes de consumo la herramienta de más utilizada es el control estadístico de procesos seguido por, metodologías formales de análisis y resolución de problemas, AMFE, 5S, seis sigma y por último Taguchi.

A continuación en la ilustración 19 se presentan los histogramas realizados en el análisis de los grados de utilización de cada una de las herramientas de mejora de la calidad.



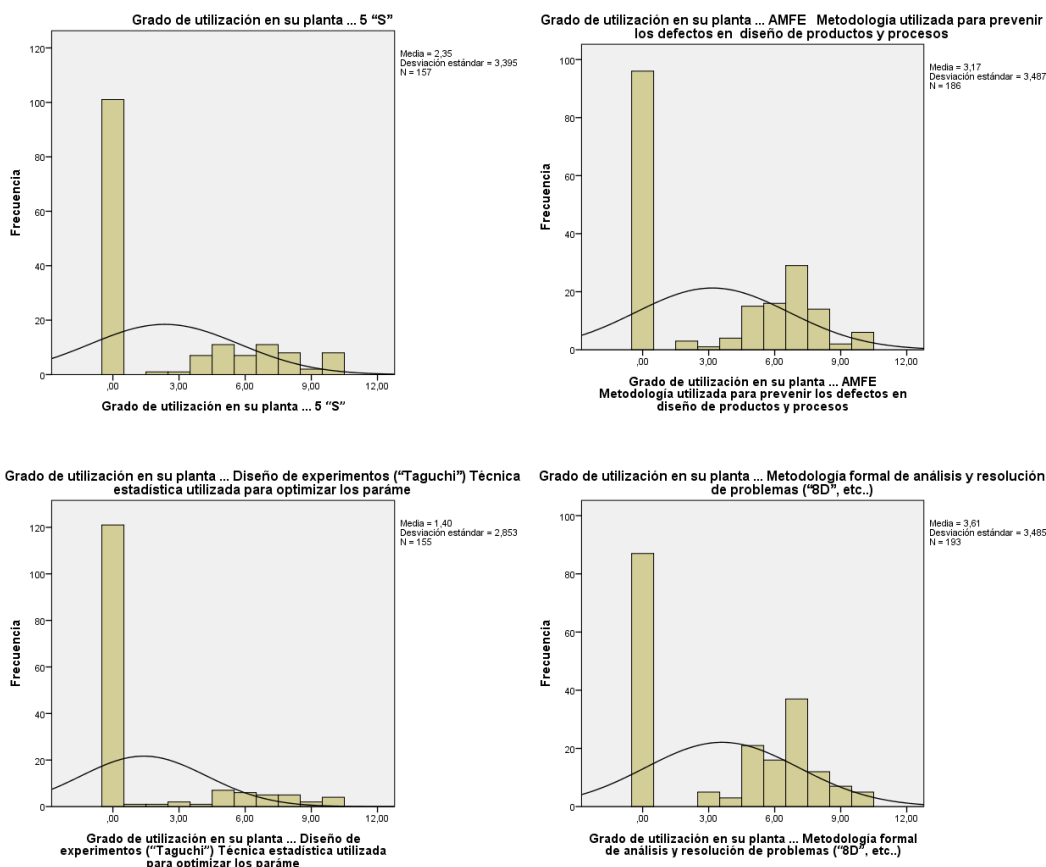


Ilustración 19: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fabricantes de bienes de consumo. Referencia: SPSS.

3.1.2.2 EMPRESAS FABRICANTES DE BIENES INTERMEDIOS Y DE EQUIPO

En este apartado se van a estudiar los datos referidos a aquellas empresas que fabrican bienes intermedios y de equipo.

A continuación se detallan en la tabla 8 el número de datos que se han manejado al estudiar cada una de las distintas herramientas de mejora de la calidad. Además se presentan también el número de datos que no han podido utilizarse por no ser válidos y por último la mediana calculada para el grado de utilización de cada una de las herramientas.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Respuestas válidas	86	99	85	89	82	92
Perdidas	38	25	39	35	42	32
Media	1,4302	4,9091	2,8824	4,2584	1,1585	3,2065

Tabla 9: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fabricantes de bienes intermedios y de equipo.

De este modo se observa que en aquellas empresas dedicadas a la fabricación de bienes intermedios y de equipo la herramienta de mejora de la calidad más utilizada es el control estadístico de procesos seguida por, AMFE, metodologías formales de análisis y resolución de problemas, 5 S, seis sigma y por último Taguchi.

A continuación se presentan los histogramas realizados a la hora de analizar los datos referentes al grado de utilización de cada una de las herramientas de mejora de la calidad (ilustración 20).

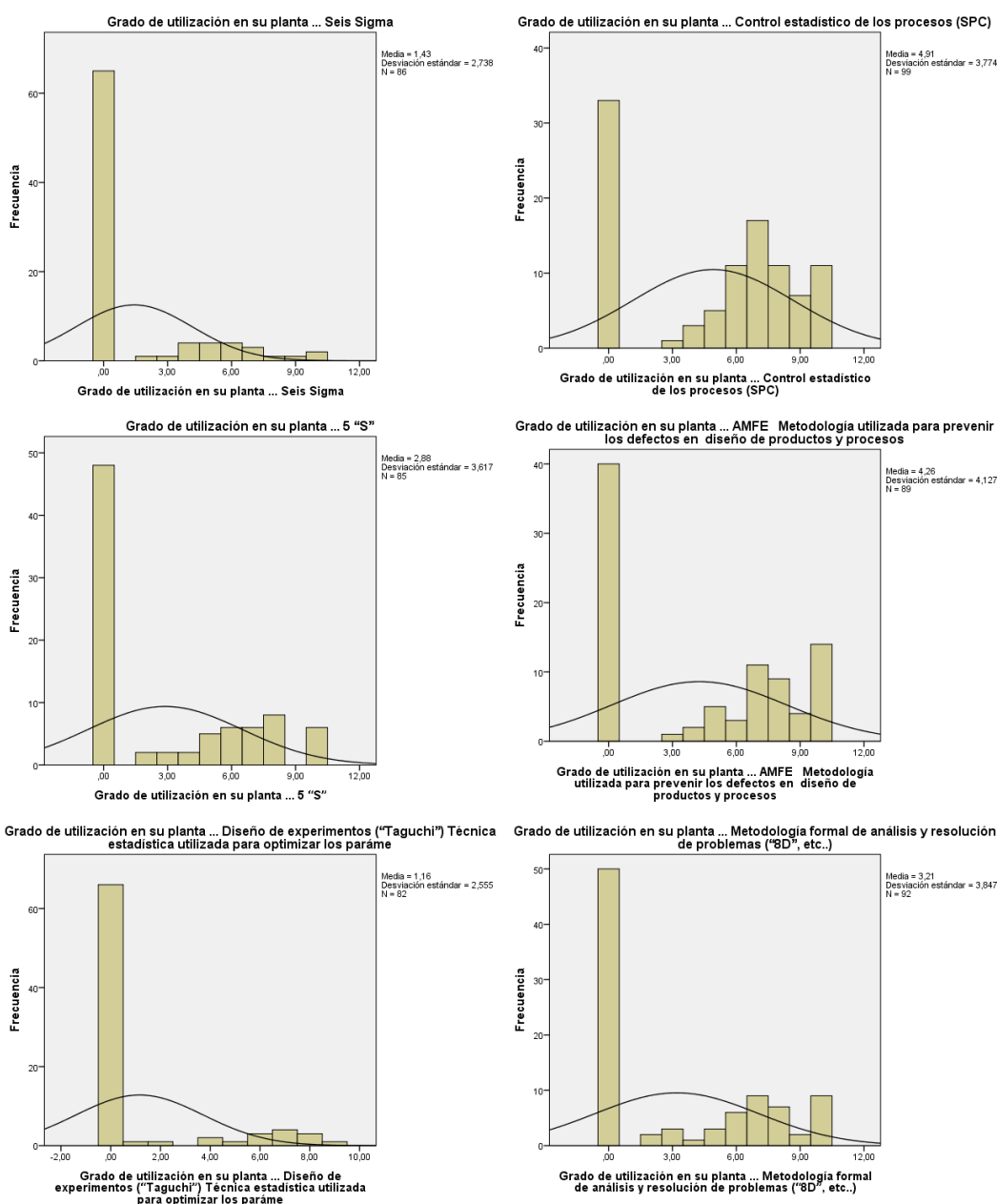


Ilustración 20: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fabricantes de bienes intermedios y de equipo. Referencia: SPSS.

3.1.2.3 EMPRESAS FABRICANTES DE AMBOS TIPOS DE BIENES

El último grupo a analizar es el de aquellas empresas que fabrican ambos tipos de bienes.

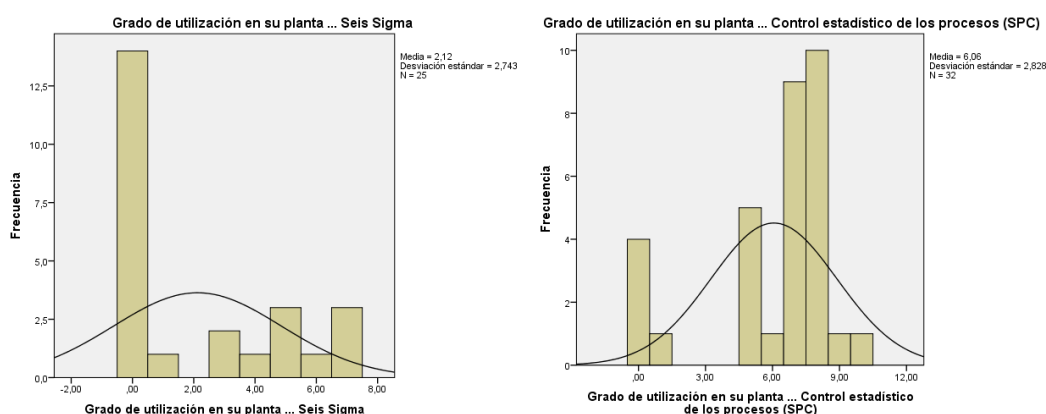
A continuación en la tabla 9 se detallan el número de respuestas que se han utilizado a la hora de analizar el grado de utilización de cada una de las herramientas de mejora de la calidad. Además se especifica el número de respuestas que no han podido ser utilizadas a causa de ser no válidas. Por último se detalla la media calculada para el grado de utilización de cada una de las herramientas.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Respuestas válidas	25	32	25	30	25	28
Perdidas	9	2	9	4	9	6
Media	2,12	6,0625	3,2	3,5667	1,56	3,3929

Tabla 10: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fabricantes de ambos tipos de bienes.

Analizando los datos se observa que en aquellas empresas dedicadas a la fabricación de todo tipo de bienes la herramienta más utilizada es el control estadístico de procesos seguida por AMFE, las metodologías formales de análisis y resolución de problemas, 5 S, seis sigma y Taguchi.

A continuación en la ilustración 21 se presentan los histogramas obtenidos al analizar el grado de utilización de cada una de las herramientas tratadas.



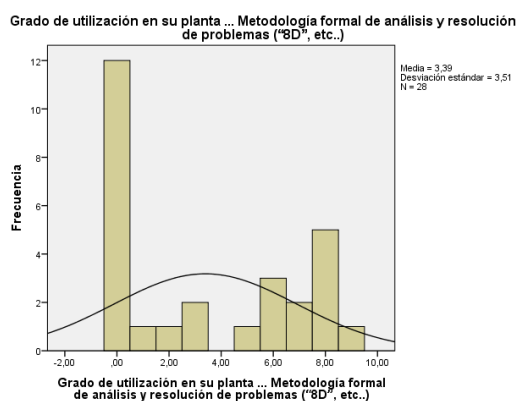
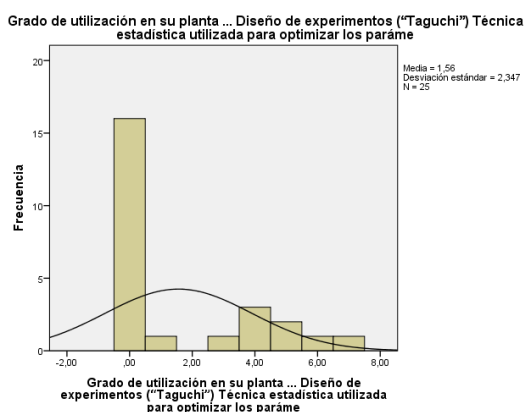
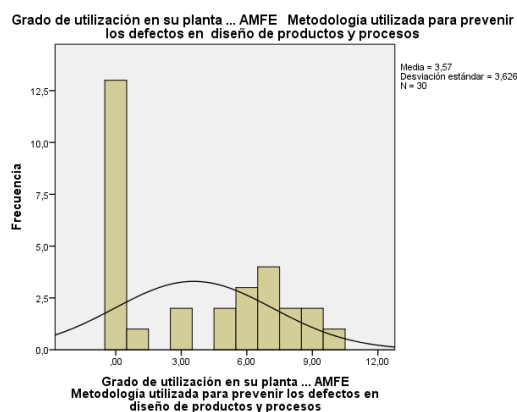
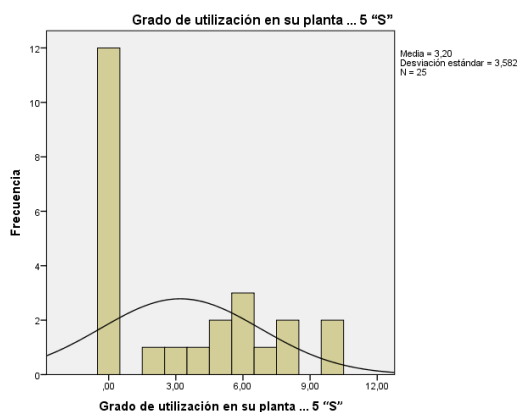


Ilustración 21 Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas fabricantes de ambos tipos de bienes. Referencia: SPSS.

3.1.2.4 RECOPIACIÓN DE DATOS

A continuación en la tabla 11 se presentan las medias calculadas para cada una de las herramientas en cada uno de los grupos estudiados.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
B. Consumo	1,7792	4,9317	2,3503	3,1667	1,4	3,6062
B. Equipo	1,4302	4,9091	2,8824	4,2584	1,1585	3,2065
Ambos tipos	2,12	6,0625	3,2	3,5667	1,56	3,3929

Tabla 11: Recopilación de datos en función del tipo de producto fabricado.

Una vez calculadas las medias se obtiene realizar clasificación de las herramientas en función de su grado de utilización:

1. Control estadístico de procesos (SPC)
2. AMFE
3. Metodologías formales de análisis y resolución de problemas (8D, etc)
4. 5 S
5. Seis sigma
6. Taguchi

3.1.3 NÚMERO DE TRABAJADORES EN LA PLANTILLA

En el presente apartado se va a realizar un análisis del grado de utilización de las distintas herramientas de mejora de la calidad en función del número de trabajadores que cada empresa tiene en plantilla.

Se ha llevado a cabo una clasificación en función del número de trabajadores en plantilla. Dicha clasificación es la siguiente:

- Microempresa: Hasta 10 trabajadores.
- Pequeña empresa: Desde 10 trabajadores hasta 49.
- Mediana empresa: Desde 50 trabajadores hasta 250 (Tipo 1).
- Gran empresa: Más de 250 trabajadores (Tipo 2).

En la tabla 10 se detallan el número de empresas englobadas dentro de cada uno de los grupos en los que se ha dividido la clasificación.

	Número de empresas
Mediana empresa	346
Gran empresa	55
Total	401

Tabla 12: Grupos realizados por el tamaño de las empresas

3.1.3.1 MICROEMPRESAS Y PEQUEÑAS EMPRESAS

En los datos analizados, ninguna de las empresas tenía menos de 50 trabajadores, por tanto estos tipos no podrán estudiarse.

3.1.3.2 MEDIANA EMPRESA

Un total de 346 empresas de las 401 encuestadas se encuentran en este grupo.

Debido al gran número de empresas catalogadas en este tipo se va a realizar una subdivisión en dos grupos.

- Grupo 1: Desde 50 hasta 125 trabajadores.
- Grupo 2: Desde 126 hasta 250 trabajadores.

En la tabla 11 se especifica el número de empresas dentro de cada uno de estos dos grupos en los que se ha dividido la mediana empresa.

	Número de empresas
Grupo 1	247
Grupo 2	99
Total	346

Tabla 13: Subgrupos realizados en mediana empresa

SUBGRUPO 1 DE MEDIANA EMPRESA

En la tabla 12 se presentan el número de datos que han sido analizados para la realización del estudio. Estos datos, como se indica en la tabla, están formados por respuestas válidas que han sido utilizadas y otras no válidas que por tanto no han podido utilizarse. Además se detallan las medias calculadas para el grado de utilización de cada una de las herramientas de control de calidad estudiadas.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Respuestas válidas	154	199	155	181	151	178
Perdidas	93	48	92	66	96	69
Media	1,4286	4,5528	2,1613	3,221	1,0596	2,9326

Tabla 14: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes al subgrupo uno dentro de mediana empresa.

Observando los datos obtenidos se puede afirmar que en la herramienta más utilizada dentro de este grupo es el control estadístico de procesos seguido por AMFE, metodologías formales de análisis y resolución de problemas, 5S, seis sigma y por último Taguchi.

SUBGRUPO 2 DENTRO DE MEDIANA EMPRESA

Al igual que para el subgrupo 1 en la tabla 13 se especifican el número de respuestas de las que se ha dispuesto a la hora de analizar el grado de utilización de las herramientas de mejora de la calidad dentro de este subgrupo. Además se detallan también el número de respuestas no validas, que por tanto no pudieron utilizarse, y la media calculada para el grado de utilización de cada una de las herramientas tratadas.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Respuestas válidas	70	87	70	77	68	89
Pérdidas	29	12	29	22	31	10
Media	1,7857	5,2529	2,7286	3,5714	1,5441	4,0899

Tabla 15: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes al subgrupo dos dentro de mediana empresa.

Una vez observados los resultados obtenidos se puede afirmar que la herramienta más utilizada dentro de este subgrupo es el control estadístico de procesos seguida por metodologías formales de análisis y resolución de problemas, AMFE, 5S, seis sigma y por último taguchi.

3.1.3.3 GRAN EMPRESA

Un total de 55 de las 401 empresas que respondieron el cuestionario son de este tipo.

En la tabla 14 se especifican el número de respuestas que se podido analizar, además se detalla también el número de respuestas no validas encontradas. Por último se incluye el valor de la media calculada para el grado de utilización de cada una de las herramientas.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Respuestas válidas	41	50	42	47	43	46
Perdidas	14	5	13	8	12	9
Media	2,561	6,56	4	4,617	2	4,3478

Tabla 16: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en grandes empresas

Estudiando los datos arrojados se puede observar que la herramienta más utilizada es el control estadístico de procesos seguido por AMFE, metodologías formales de análisis y resolución de problemas, 5 S, seis sigma y por último taguchi.

A continuación se presentan los histogramas realizados a las diferentes herramientas de mejora de la calidad a la hora de analizar los datos (ilustración 22).

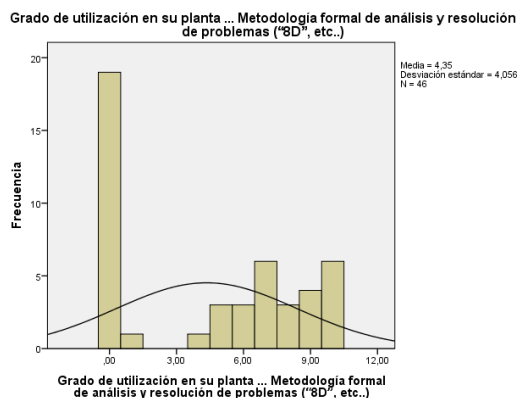
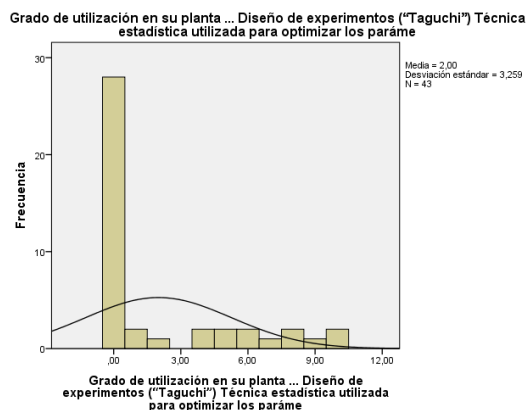
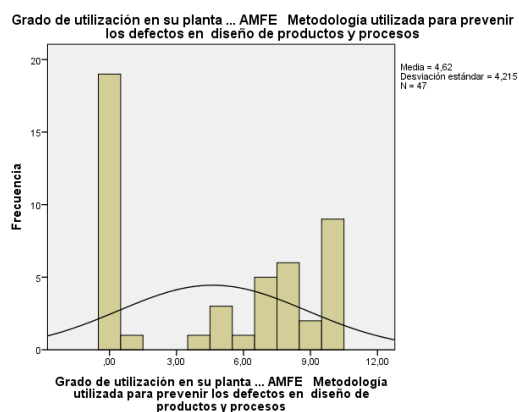
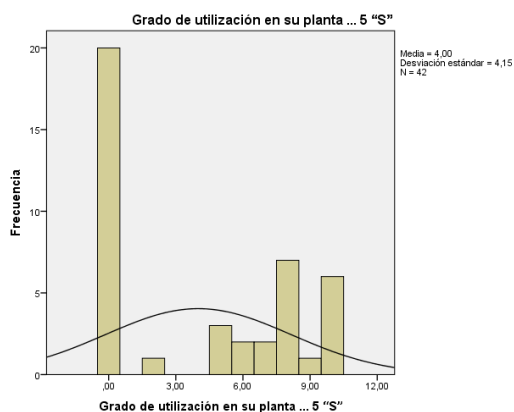
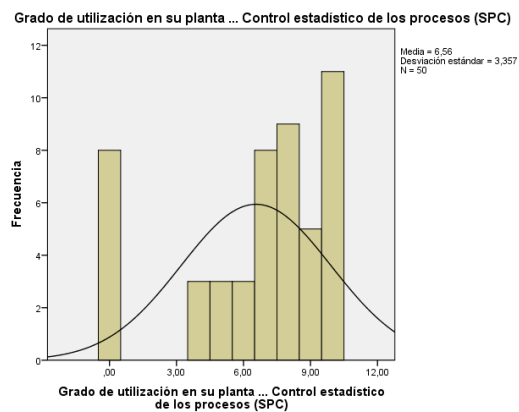
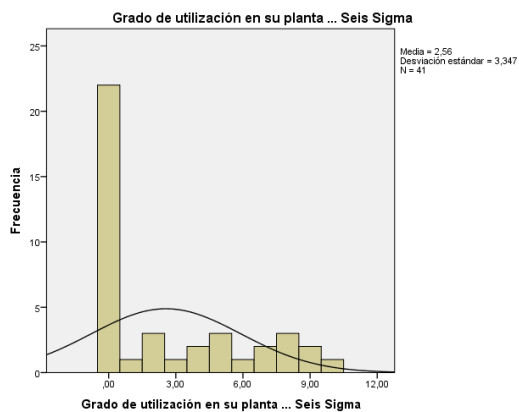


Ilustración 22: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en grandes empresas. Referencia: SPSS.

3.1.3.4 RECOPIACIÓN DE DATOS

Una vez calculadas las medias para el valor de la utilización de cada una de las herramientas en cada uno de los grupos en los que las empresas han sido divididas.

En la tabla 17 se muestran las medias para el valor de la utilización de cada una de las herramientas en cada uno de los grupos en los que las empresas han sido divididas.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Mediana 1	1,4286	4,5528	2,1613	3,221	1,0596	2,9326
Mediana 2	1,7857	5,2529	2,7286	3,5714	1,5441	4,0899
Gran E.	2,561	6,56	4	4,617	2	4,3478

Tabla 17: Recopilación de datos en función del número de trabajadores en plantilla.

De este modo analizando los valores obtenidos se puede establecer el orden en que las herramientas son más o menos utilizadas. Este orden es el siguiente:

1. Control estadístico de procesos (SPC)
2. AMFE
3. Metodologías formales de análisis y resolución de problemas (8D, etc)
4. 5 S
5. Seis Sigma.
6. Taguchi

3.1.4 EMPRESAS EXPORTADORAS O NO EXPORTADORAS

A continuación se va a estudiar el grado de utilización de las distintas herramientas de mejora de la calidad en distintos grupos de empresas, clasificados en función de si exportan sus productos o no.

En la tabla 15 se detalla el número de empresas englobadas dentro de cada grupo, ya sean exportadoras o no exportadoras. Además se especifica también el número de empresas que no dieron información suficiente como para poder clasificarlas con seguridad en alguno de los dos grupos.

	Número de empresas
No exportadoras	75
Exportadoras	321
Perdidas	5
Total	401

Tabla 18: Agrupación de empresas en función de si exportan o no.

3.1.4.1 EMPRESAS NO EXPORTADORAS

Tras analizar los datos se observa que existen 75 empresas cuya producción se destina íntegramente a clientes españoles. Esto supone un 18.7 % del total.

De este modo las empresas no exportadoras son aquellas que realizan el 100 % de sus ventas a estos clientes.

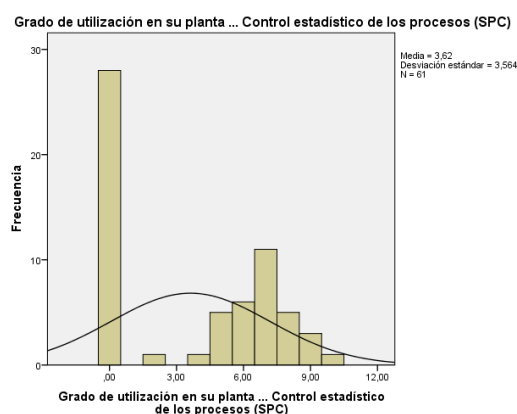
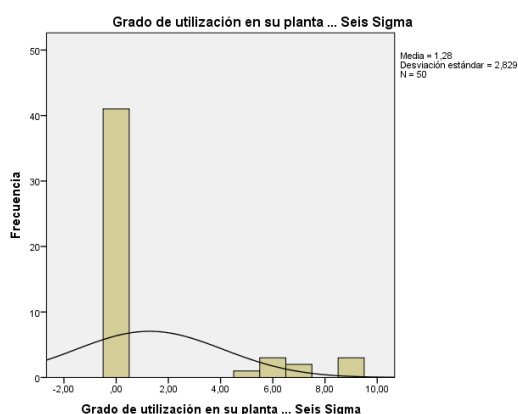
En la tabla 16 se presentan el número de datos que han podido ser analizados, al igual que el número de ellos que no han podido utilizarse debido a ser no válidos. Por último se especifica la media calculada para el grado de utilización de cada una de las herramientas de mejora de la calidad estudiadas.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Respuestas válidas	50	61	50	56	50	56
Perdidas	25	14	25	19	25	19
Media	1,28	3,623	1,52	2,7321	1,02	2,7321

Tabla 19: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas no exportadoras.

De este modo se observa que las empresas que no exportan sus productos utilizan en mayor medida el control estadístico de procesos seguido por, AMFE y por metodologías formales de análisis y resolución de problemas en igual medida, AMFE, seis sigma y taguchi.

Por último en la ilustración 23 se presentan los diferentes histogramas obtenidos al analizar el grado de utilización de cada una de las herramientas de mejora de la calidad tratadas.



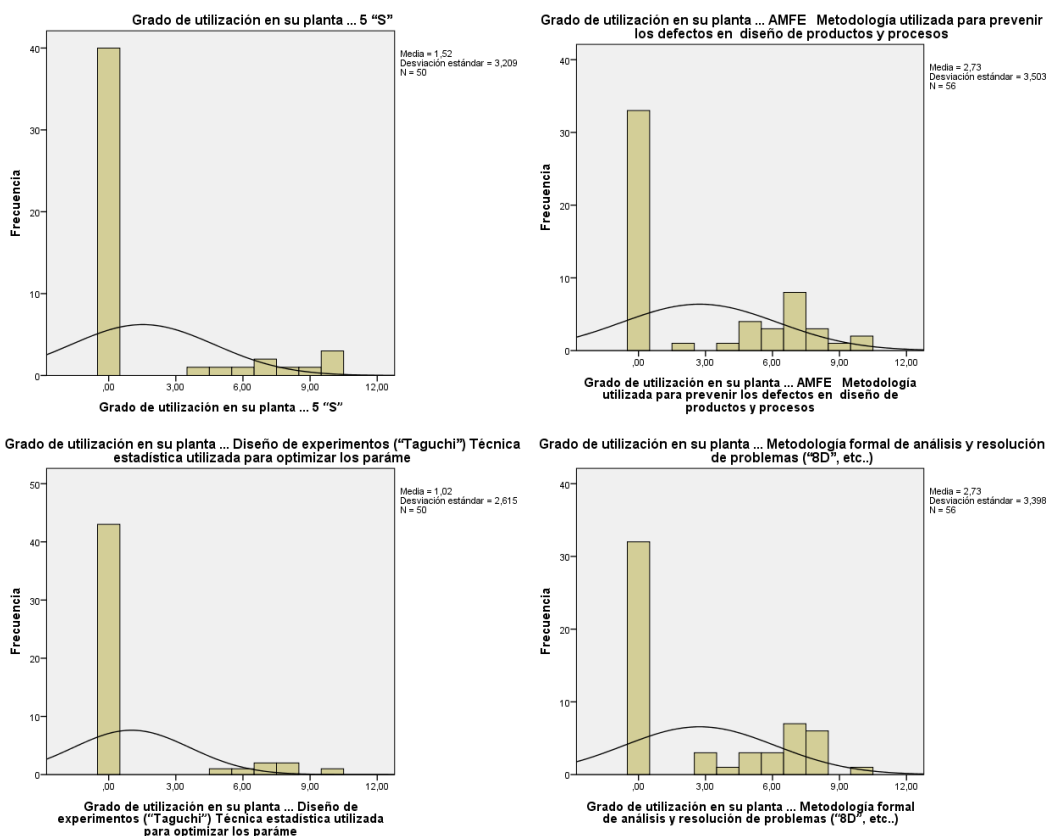


Ilustración 23: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas no exportadoras. Referencia: SPSS.

3.1.4.2 EMPRESAS EXPORTADORAS

Al analizar las empresas exportadoras no se ha diferenciado entre aquellas que exportan el total de su producción o aquellas que solo exportan un pequeño porcentaje.

De este modo dentro de las empresas estudiadas existen 321 empresas que exportan parte de su producción, esto equivale a un 80,04% del total de las empresas analizadas.

A continuación en la tabla 17 se presentan el número de datos estudiados, al igual que el número de datos que se han considerado no válidos y que por tanto no se han podido analizar. Por último se detalla también la media calculada para el grado de utilización de cada una de las herramientas de mejora de la calidad estudiadas.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Respuestas válidas	211	271	212	245	208	253
Perdidas	110	50	109	76	113	68
Media	1,8294	5,321	2,8538	3,702	1,4183	3,6285

Tabla 20: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas exportadoras.

Observando los resultados obtenidos se puede establecer el orden en el cual las empresas son más o menos utilizadas. De este modo la herramienta más utilizada es el control estadístico de procesos seguido por AMFE, metodologías formales de análisis y resolución de problemas, 5 S, seis sigma y por último taguchi.

En la ilustración 24 se presentan los histogramas obtenidos al realizar en análisis de datos sobre el grado de utilización de cada una de las herramientas estudiadas.

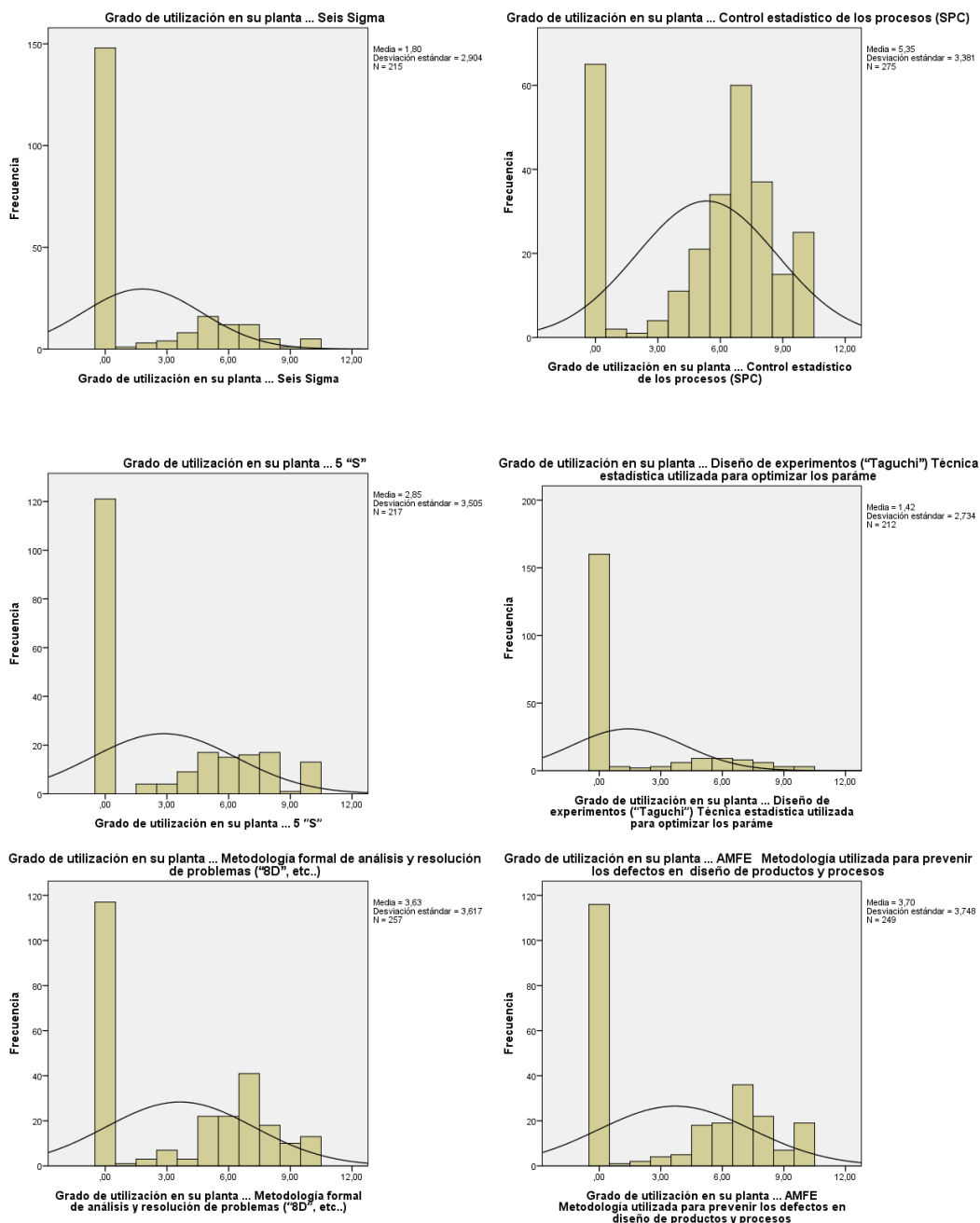


Ilustración 24: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas exportadoras. Referencia: SPSS.

3.1.4.3 RECOPIACIÓN DE DATOS

Las medias referentes al grado de utilización de cada una de las herramientas de mejora de la calidad tratadas para cada uno de los grupos especificados se presentan en la tabla 21.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Exportador	1,25	3,623	1,52	2,7321	1,02	2,7321
No exp.	1,8294	5,321	2,8538	3,702	1,4183	3,6285

Tabla 21: Recopilación de datos en función de si la empresa es o no exportadora.

De este modo a través de los datos obtenidos se establece el orden de mayor a menor utilización de las herramientas:

1. Control estadístico de procesos (SPC)
2. AMFE
3. Metodologías formales de análisis y resolución de problemas (8D, etc)
4. 5 S
5. Seis sigma
6. Taguchi

3.1.5 VENTAJA COMPETITIVA UTILIZADA

En el presente apartado se va a estudiar el grado de utilización de cada una de las herramientas de mejora de la calidad tratadas en empresas industriales clasificadas en función del factor que consideran más importante para su producción.

El primer paso que se realizará será la división de las empresas en grupos. Los factores que se van a considerar a la hora de realizar el estudio serán:

- Coste
- Calidad de producto
- Flexibilidad
- Tiempo de entrega
- Innovación
- Servicio

En la tabla 18 se presenta la clasificación realizada, detallando el número de empresas en cada grupo considerado.

	Número de empresas
Coste	119
Calidad de producto	236
Flexibilidad	11
Tiempo de entrega	8
Innovación	13
Servicio	14
Total	401

Tabla 22: Agrupación en función de la ventaja competitiva utilizada.

De este modo se observa que la calidad de producto y el coste son los factores que más habitualmente se consideran como los más importantes suponiendo entre ambos un 88.5% de las respuestas.

3.1.5.1 UTILIZACIÓN DEL COSTE COMO VENTAJA COMPETITIVA

El primer grupo a estudiar será el de aquellas empresas que consideran el coste como el factor más importante para su producción.

En la tabla 19 se detallan el número de respuestas válidas que han sido utilizadas para estudiar el grado de utilización de cada una de las herramientas, se especifica también el número de aquellas respuestas no validas que no pudieron utilizarse. Por último se presenta la media del grado de utilización de cada una de las herramientas.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Respuestas válidas	74	98	81	91	78	90
Perdidas	45	21	38	28	41	29
Media	1,5	5,2143	2,7901	3,5275	0,859	3,4444

Tabla 23: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas cuya ventaja competitiva es el coste.

Observando los datos obtenidos se puede afirmar que la herramienta más utilizada es el control estadístico de procesos seguido por AMFE, metodologías formales de análisis y resolución de problemas, 5 S, seis sigma y por último taguchi.

En la ilustración 25 se presentan los histogramas obtenidos al analizar las respuestas referentes a cada una de las herramientas tratadas.

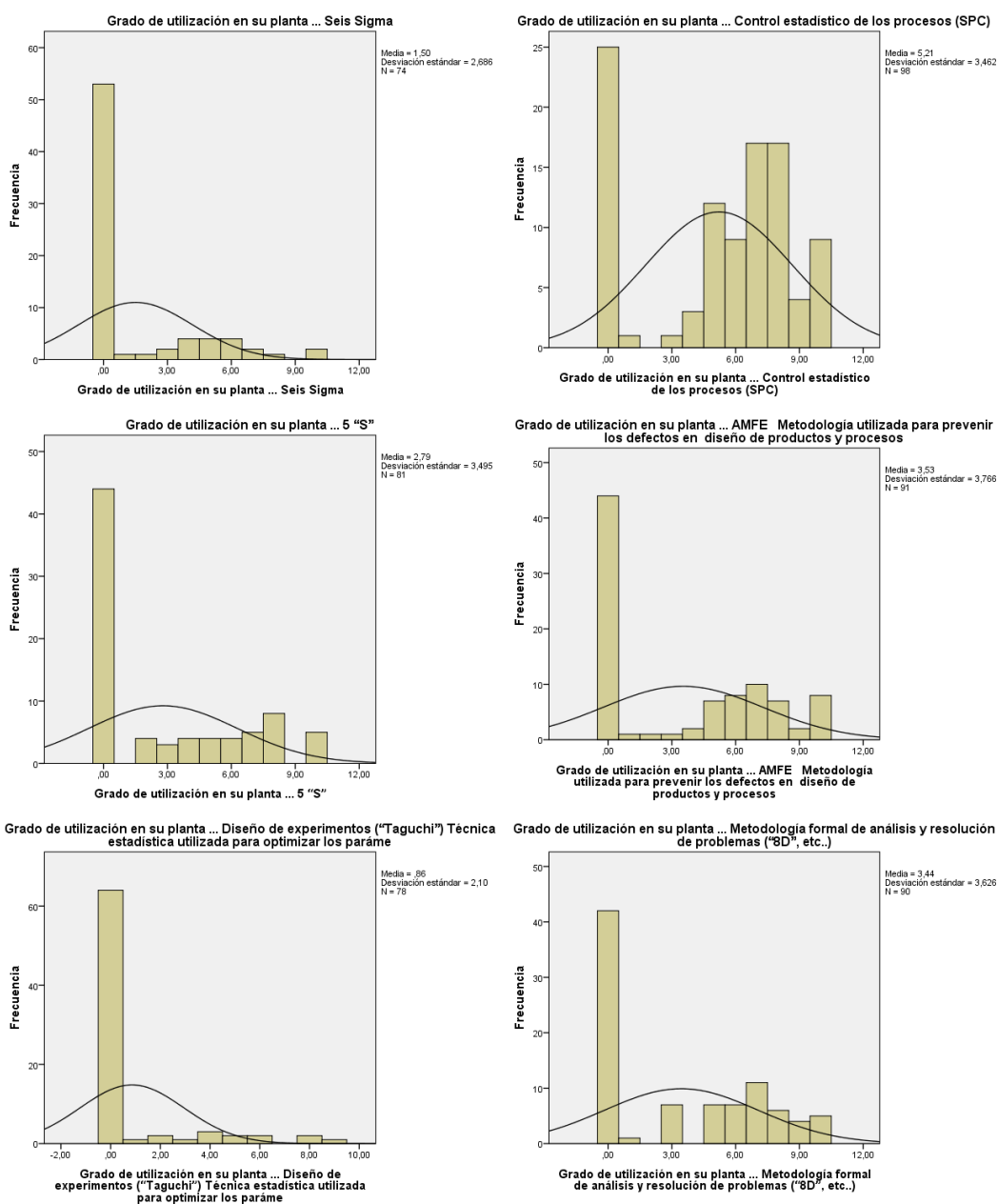


Ilustración 25: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas que utilizan el coste como ventaja competitiva. Referencia: SPSS.

3.1.5.2 UTILIZACIÓN DE LA CALIDAD COMO VENTAJA COMPETITIVA

Otro de los factores considerados es, como ya se ha dicho, la calidad de producto.

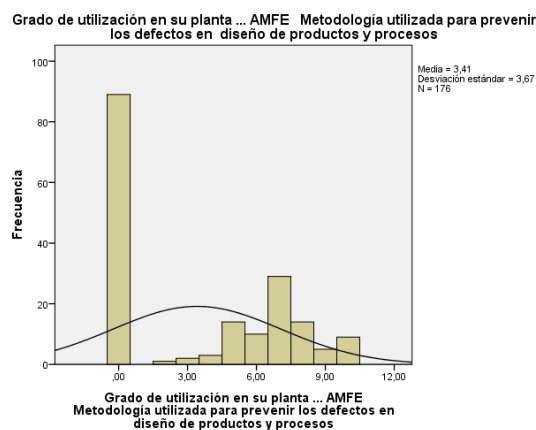
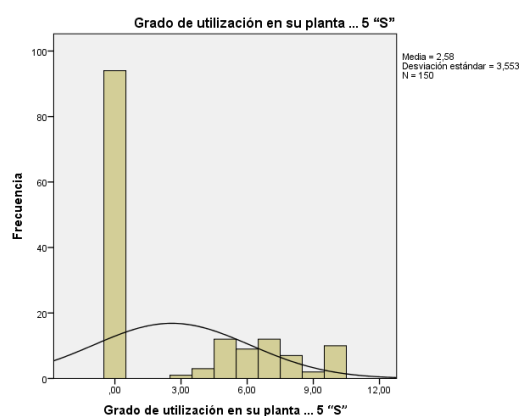
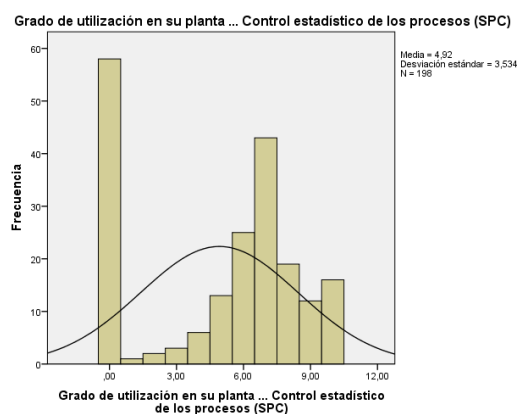
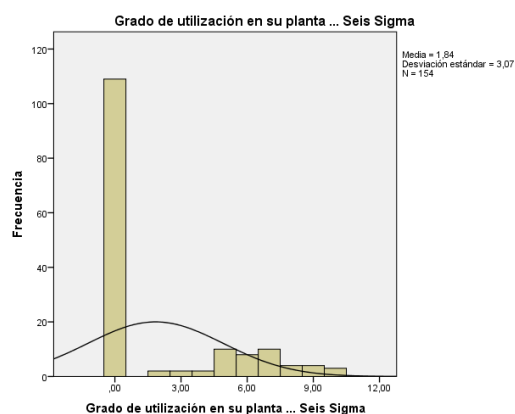
En la tabla 20 se especifican el número de respuestas que han podido analizarse con el fin de obtener el grado de utilización de cada una de las herramientas. Además se

presentan el número de respuestas no válidas encontradas y la media calculada para el grado de utilización de cada herramienta.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Respuestas válidas	154	198	150	176	150	185
Perdidas	82	38	86	60	86	51
Media	1,8442	4,9192	2,58	3,4091	1,66	3,6541

Tabla 24: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas cuya ventaja competitiva es la calidad.

En la ilustración 26 se presentan los histogramas obtenidos al analizar cada una de las distintas herramientas de mejora de la calidad tratadas.



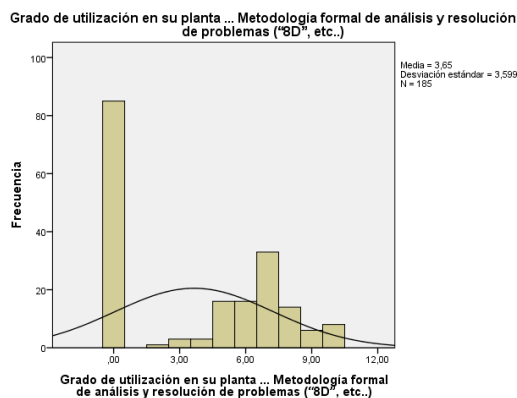
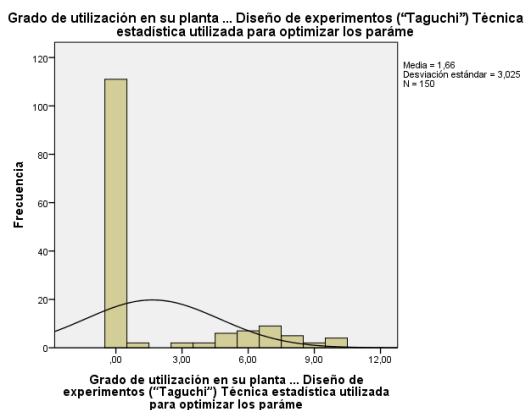


Ilustración 26: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas que utilizan la calidad como ventaja competitiva. Referencia: SPSS.

3.1.5.3 UTILIZACIÓN DE OTRA VENTAJA COMPETITIVA

Debido al bajo número de empresas analizadas que consideran la flexibilidad, el tiempo de entrega, la innovación o el servicio como el factor más importante, se ha decidido unir todas estas empresas en un grupo que designe a aquellas empresas que no considera la calidad o el coste como el factor más importante.

A continuación en la tabla 21 se detallan el número de respuestas utilizadas en el análisis, al igual que el número de aquellas que resultaron no válidas y que por tanto no se estudiaron. Por último, se añade la media calculada para el grado de utilización de cada una de las herramientas de calidad tratadas.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Respuestas válidas	37	40	36	38	34	38
Perdidas	9	6	10	8	12	8
Media	1,4865	5,15	2,25	4,0526	1,0294	2,6316

Tabla 25: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas cuya ventaja competitiva es diferente al coste o la calidad.

Finalmente en la ilustración 27 se presentan los histogramas obtenidos al analizar cada una de las herramientas estudiadas.

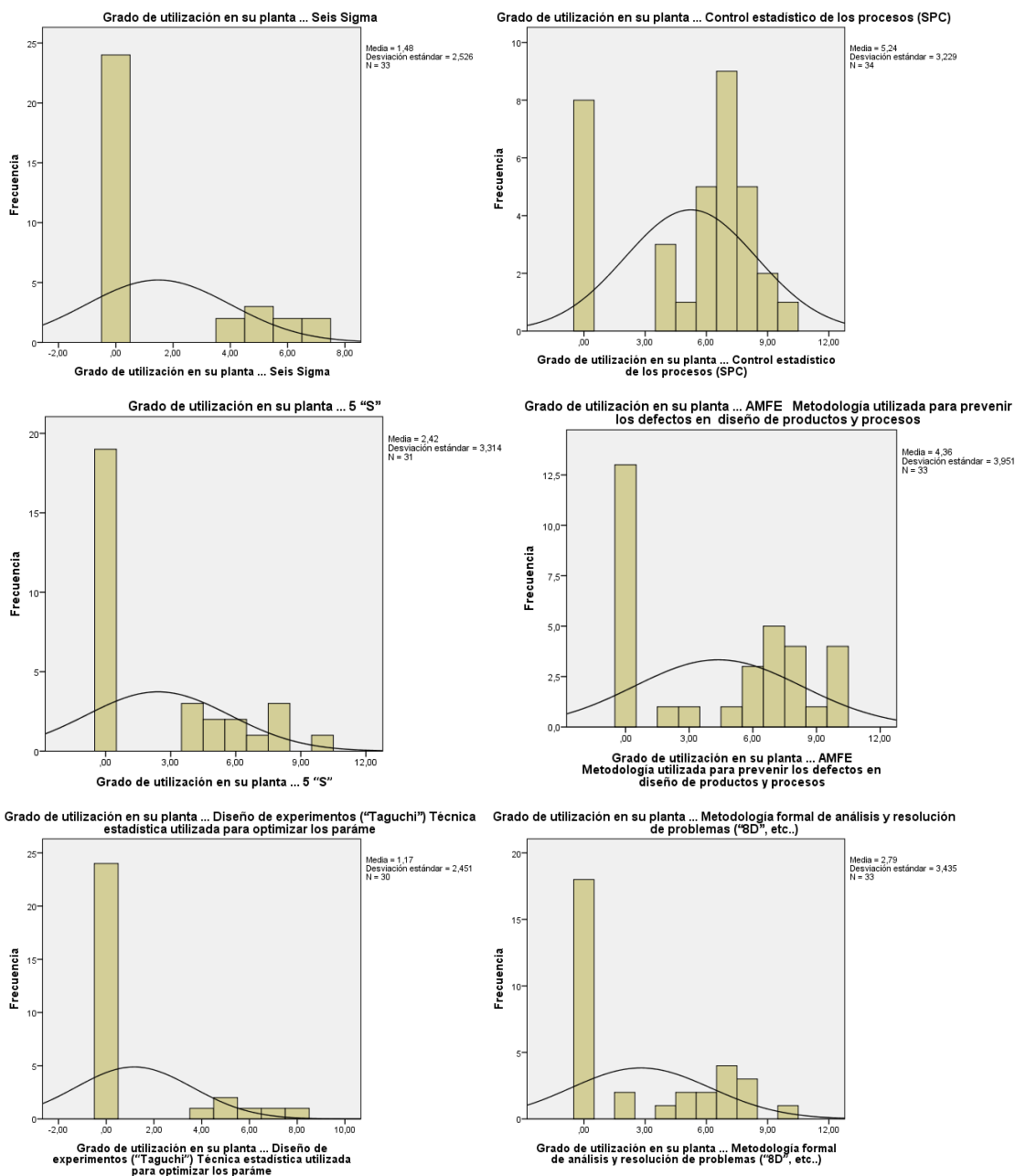


Ilustración 27: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas que utilizan otras ventajas competitivas. Referencia: SPSS.

3.1.5.4 RECOPIACIÓN DE DATOS

En la tabla 26 se presentan las medias referentes al grado de utilización de cada una de las herramientas de mejora de la calidad tratadas en cada uno de los grupos en los que las empresas han sido divididas:

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Coste	1,5	5,2143	2,7901	3,5275	0,859	3,4444
Calidad	1,8442	4,9192	2,58	3,4091	1,66	3,6541
Resto	1,4865	5,15	2,25	4,0526	1,0294	2,6316

Tabla 26: Recopilación de datos en función del tipo de ventaja competitiva.

De este modo se puede establecer el orden de utilización de las herramientas estudiadas:

1. Control estadístico de procesos (SPC)
2. AMFE
3. Metodologías formales de análisis y resolución de problemas (8D, etc)
4. 5 S
5. Seis sigma
6. Taguchi

3.1.6 SECTOR CARACTERIZADO POR SU INTENSIDAD TECNOLÓGICA

Por último se va a realizar un análisis de la media de utilización de cada una de las herramientas de calidad tratadas distinguiendo las empresas en función de la intensidad tecnológica del sector al que pertenecen.

De este modo se han establecido cuatro tipos de intensidades tecnológicas:

1. Baja intensidad: Corresponde a los sectores de; alimentación, bebidas y tabaco; textil, confección, cuero y calzado; madera y corcho, papel y artes gráficas; muebles y otras manufacturas diversas.
2. Media baja intensidad: Engloba los sectores de; caucho, materias plásticas y otros minerales no metálicos; metalurgia y fabricación de metales (salvo maquinaria).
3. Media alta intensidad: Agrupa a los sectores de; química; maquinaria y equipo mecánico; material eléctrico; vehículos a motor y material de transporte.
4. Alta intensidad: Aquí se encuentran los sectores de; material electrónico, instrumentos médicos, óptica e informática; industria farmacéutica; industria aeronáutica.

En la tabla 22 se muestra el número de empresas de las que se compone cada grupo.

	Número de empresas
Baja intensidad	159
Media baja intensidad	127
Media alta intensidad	94
Alta intensidad	21

Tabla 27: Agrupación en función de la intensidad tecnológica del sector al que pertenecen.

Se observa así que en las muestras analizadas hay una mayor proporción de empresas de baja y media baja intensidad tecnológica (71,3 % entre ambas), seguidas por aquellas con una media alta intensidad (23,4 % del total) y por último y en bastante menor medida aquellas con una alta intensidad tecnológica (5,4%).

3.1.6.1 EMPRESAS CON UNA BAJA INTENSIDAD TECNOLÓGICA

En primera instancia se va a realizar un estudio sobre el grado de utilización de las distintas herramientas de mejora de la calidad en empresas con una baja intensidad tecnológica

De este modo en la tabla 23 se muestran el número de respuestas que han sido utilizadas en dicho estudio, así como aquellas que se han encontrado inválidas y por tanto no han podido utilizarse. Por último se añade la media calculada para el grado de utilización de cada una de las herramientas de mejora de la calidad.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Respuestas válidas	265	336	267	305	262	313
Pérdidas	136	65	134	96	139	88
Media	1,6981	5,0327	2,5993	3,5246	1,3397	3,4696

Tabla 28: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes a un sector con una baja intensidad tecnológica.

Se adjuntan también los histogramas obtenidos al analizar cada una de las citadas herramientas (ilustración 28).

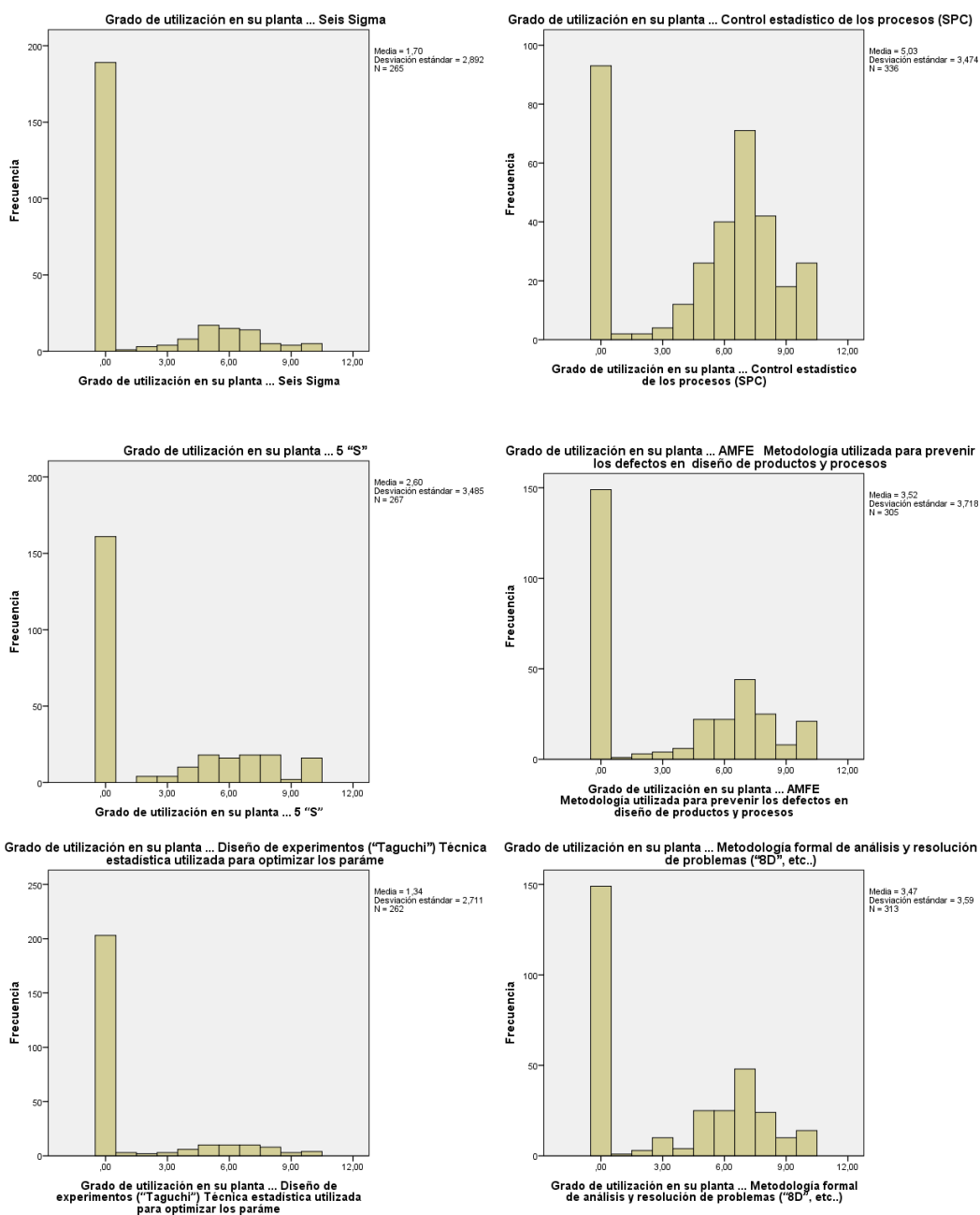


Ilustración 28: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes a sectores con una baja intensidad tecnológica. Referencia: SPSS.

3.1.6.2 EMPRESAS CON UNA MEDIA BAJA INTENSIDAD TECNOLÓGICA

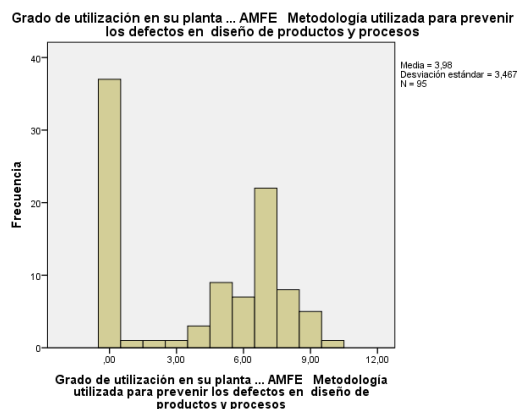
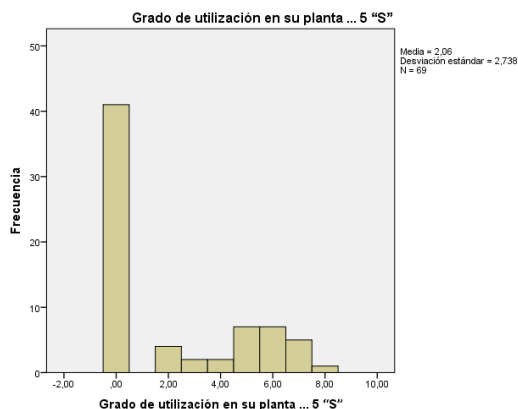
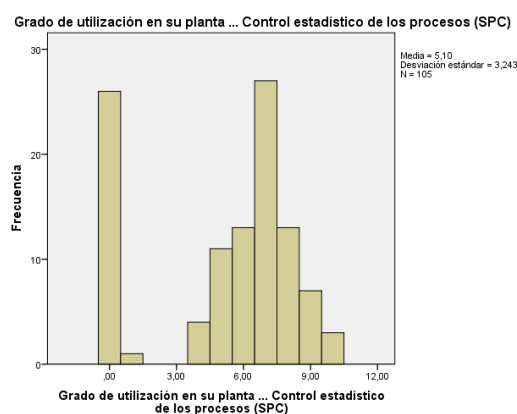
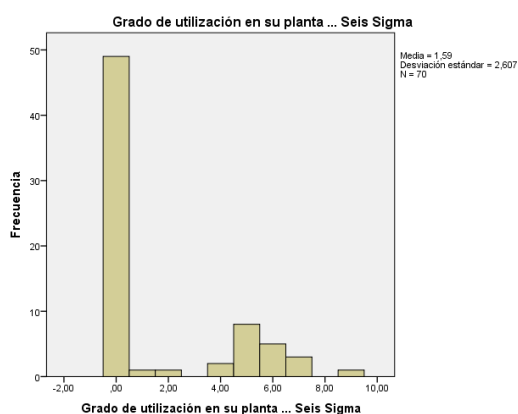
En segundo lugar se va a trabajar con el grupo que engloba a aquellas empresas con una intensidad tecnológica media baja.

En la tabla 24 se observan el número de respuestas utilizadas en el estudio así como aquellas que resultaron no válidas. Por último se adjunta la media referida al grado de utilización de cada una de las herramientas de calidad.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Respuestas válidas	70	105	69	95	73	99
Pérdidas	57	22	58	32	54	28
Media	1,5857	5,1048	2,058	3,9789	2,137	3,8182

Tabla 29: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes a un sector con una media baja intensidad tecnológica.

Por último en la ilustración 29 se adjuntan los histogramas obtenidos al analizar cada una de las herramientas de calidad tratadas.



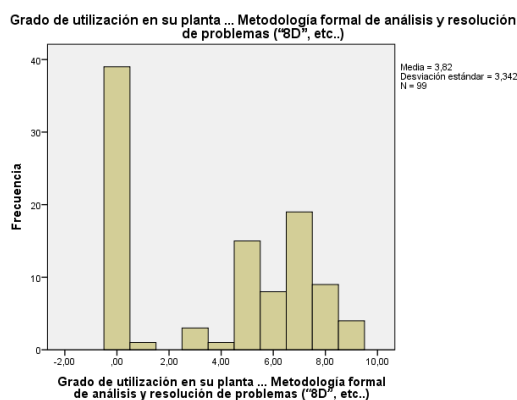
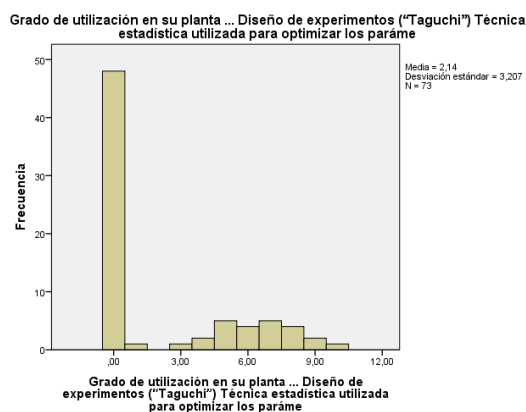


Ilustración 29: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes a sectores con una media baja intensidad tecnológica. Referencia: SPSS.

3.1.6.3 EMPRESAS CON UNA MEDIA ALTA INTENSIDAD TECNOLÓGICA

El tercer grupo analizado es el de aquellas empresas con una media alta intensidad tecnológica.

En la tabla 25 pueden observarse el número de respuestas utilizadas en los pertinentes análisis realizados a cada una de las herramientas, así como el número de respuestas perdidas que no pudieron utilizarse. Por último se adjunta la media calculada para el grado de utilización de cada una de las herramientas de mejora de la calidad citadas.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Respuestas válidas	65	75	65	64	57	67
Pérdidas	29	19	29	30	37	27
Media	2,6615	5,3867	2,7077	4,0938	0,9649	3,8209

Tabla 30: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes a un sector con una media alta intensidad tecnológica.

Por último se adjuntan los histogramas obtenidos al estudiar cada una de las herramientas de mejora de la calidad (ilustración 30).

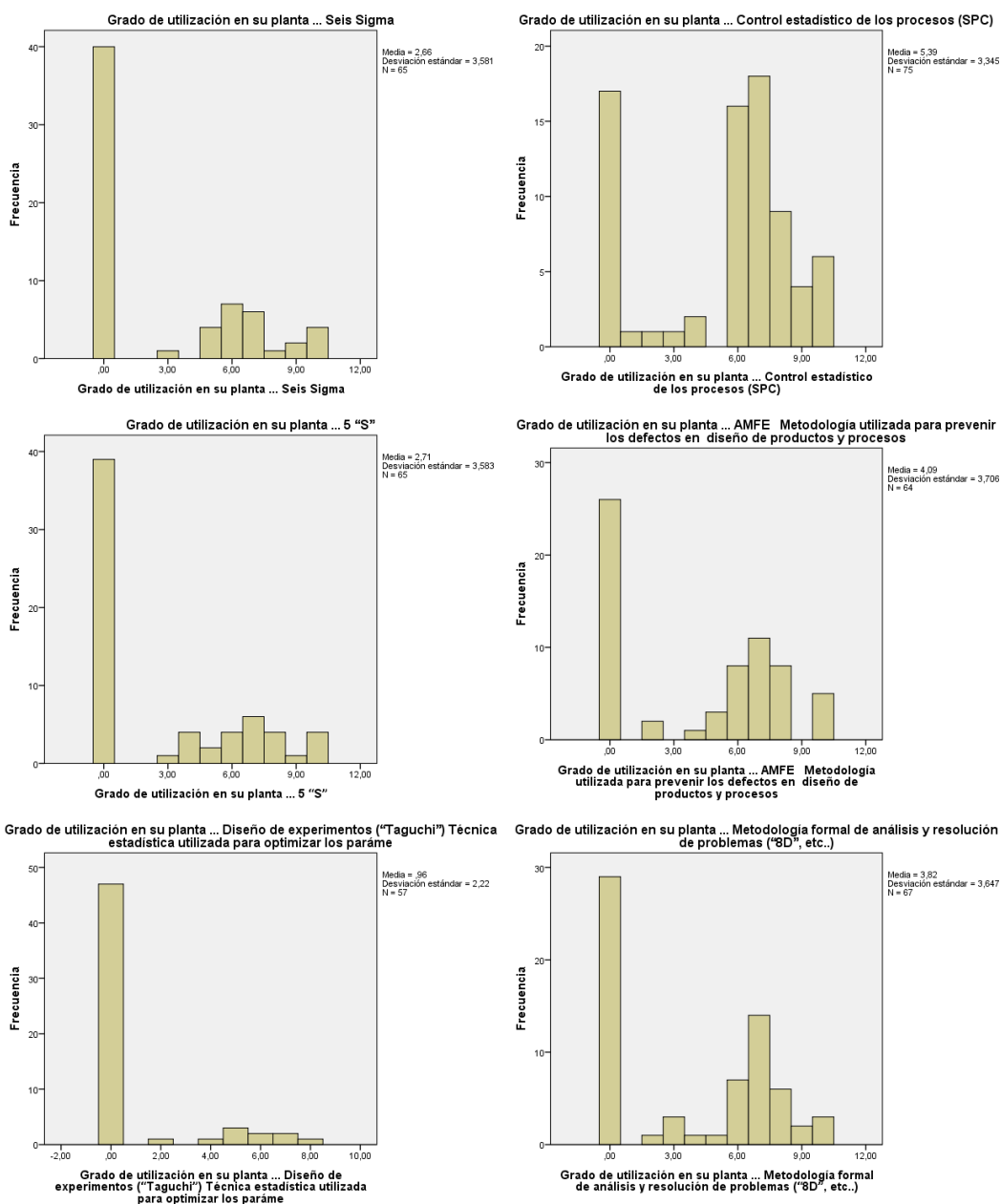


Ilustración 30: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes a sectores con una media alta intensidad tecnológica. Referencia: SPSS.

3.1.6.4 EMPRESAS CON UNA ALTA INTENSIDAD TECNOLÓGICA

El último grupo a estudiar dentro de la clasificación por sectores es el de aquellas empresas con una alta intensidad tecnológica.

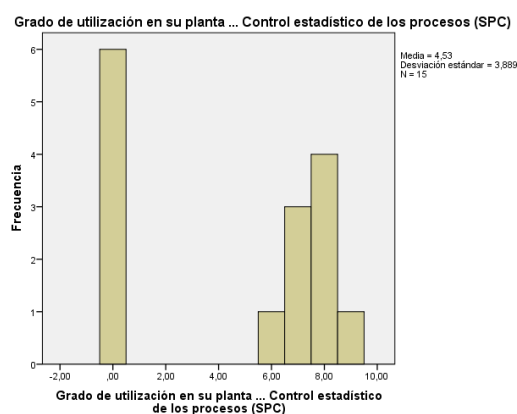
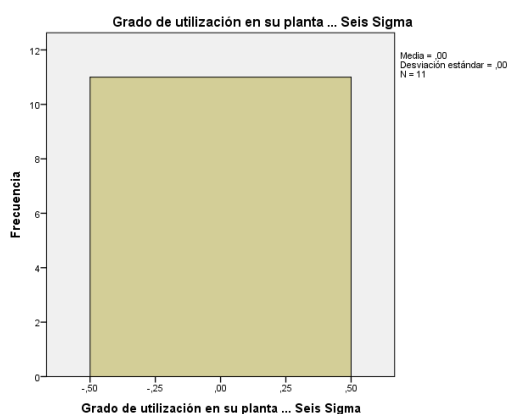
Cabe destacar que este grupo está formado por menos muestras que los anteriores por lo que los resultados pueden no ser del todo concluyentes, como sí puede suceder en otros casos.

En la tabla 26 se especifican el número de muestras que han podido utilizarse para realizar los pertinentes análisis, así como aquellas que no se han utilizado por resultar no válidas. Además se adjunta la media referente al grado de utilización de cada una de las herramientas citadas.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Respuestas válidas	11	15	13	12	12	11
Pérdidas	10	6	8	9	9	10
Media	0	4,5333	0,7692	1,0833	0	1,4545

Tabla 31: Grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes a un sector con una alta intensidad tecnológica.

Por último en la ilustración 31 se adjuntan los histogramas obtenidos al estudiar el grado de utilización de cada una de las herramientas de mejora de la calidad tratadas.



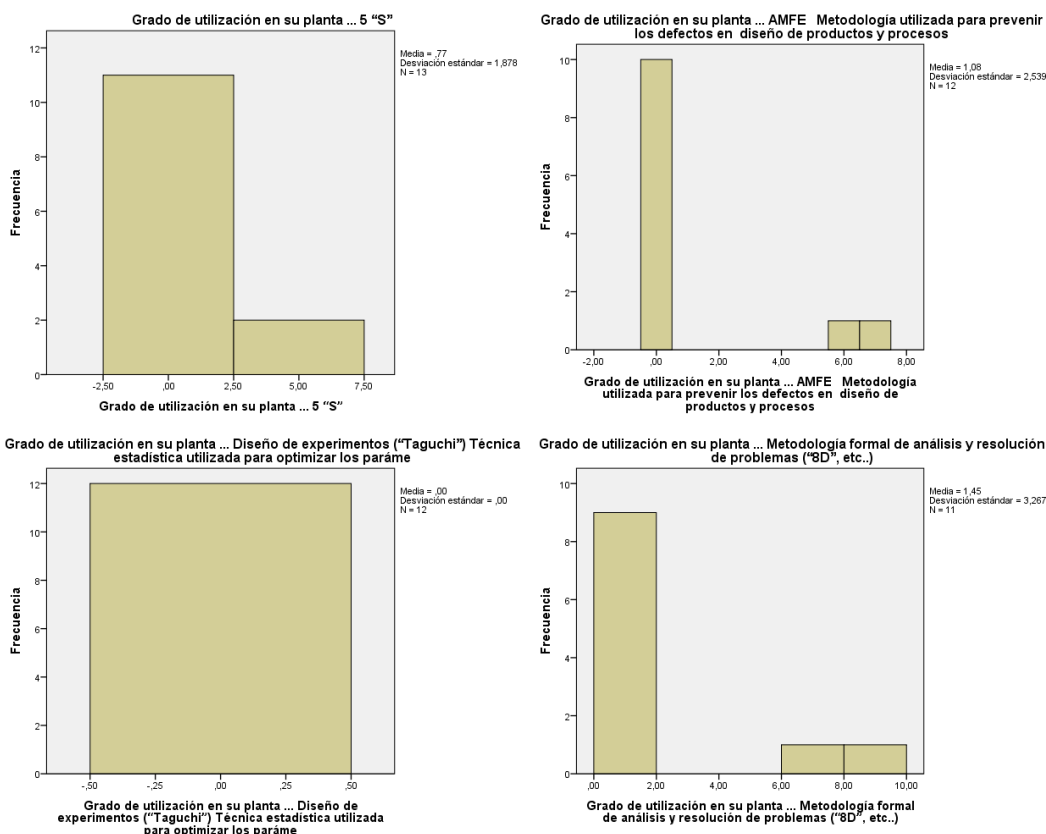


Ilustración 31: Histogramas del grado de implantación de las diferentes herramientas de calidad en empresas pertenecientes a sectores con una alta intensidad tecnológica. Referencia: SPSS.

3.1.6.5 RECOPIACIÓN DE DATOS

En la tabla X se presentan las medias representativas del grado de implantación de las diferentes herramientas de mejora de la calidad en aquellos grupos en los que las empresas han sido agrupadas en función del sector al que pertenecen.

	6 Sigma	SPC	5 S	AMFE	Taguchi	8D
Baja	1,6981	5,0327	2,5993	3,5246	1,3397	3,4696
Media baja	1,5857	5,1048	2,058	3,9789	2,137	3,8182
Media alta	2,6615	5,3867	2,7077	4,0938	0,9649	3,8209
Alta	0	4,5333	0,7692	1,0833	0	1,4545

Tabla 32: Recopilación de datos en función del sector, caracterizado en función de su intensidad tecnológica.

De este modo se pueden ordenar estas herramientas de la más utilizada a la que lo es menos:

1. Control estadístico de procesos (SPC)
2. AMFE
3. Metodologías formales de análisis y resolución de problemas (8D, etc)
4. 5 S
5. Seis Sigma
6. Taguchi.

3.2 ANÁLISIS FACTORIAL

Para realizar posteriores cálculos se ha considerado pertinente realizar un análisis factorial para comprobar si la información almacenada, referente al grado de utilización de las distintas herramientas de mejora de la calidad, esta interrelacionada siendo por tanto posible explicar estos datos mediante un número menor de factores, lo que facilitaría en gran medida el trabajo.

A continuación se detallarán los pasos que se han seguido a la hora de realizar este análisis.

3.2.1 PASO 1: SELECCIÓN DE VARIABLES

Lo primero que se debe realizar es la selección de las variables que se quieren analizar en busca de interrelaciones.

En este caso las variables que se analizan son:

- Grado de utilización en su planta de la herramienta Seis Sigma
- Grado de utilización en su planta de la herramienta SPC (Control estadístico de los procesos).
- Grado de utilización en su planta de la herramienta 5”S”.
- Grado de utilización en su planta de la herramienta AMFE (Metodología utilizada para prevenir los defectos en el diseño de productos y procesos).
- Grado de utilización en su planta de la herramienta Taguchi (Técnica estadística utilizada para optimizar los parámetros de los procesos).
- Grado de utilización en su planta de la metodología formal de análisis y resolución de problemas (“8D”, etc...)

Estas variables se presentan codificadas de forma numérica en una escala de 0 a 10 siendo:

- 0 = Valoración 0 (No se utiliza)
- 1 = Valoración 1
- 2 = Valoración 2
- 3 = Valoración 3
- 4 = Valoración 4
- 5 = Valoración 5
- 6 = Valoración 6
- 7 = Valoración 7
- 8 = Valoración 8
- 9 = Valoración 9
- 10 = Valoración 10 (Se utiliza al máximo)

En la realización de esta prueba se debe tener en cuenta el tamaño muestral, sabiendo que no es conveniente realizar un análisis factorial para un tamaño menor de 50 y que preferiblemente debería ser de 100 o mayor. En este caso las seis variables a estudiar están formadas por 401 muestras, por lo que en este aspecto se puede realizar la prueba sin ningún problema.

Cabe destacar que los valores perdidos que se podían encontrar en las variables han sido sustituidos por el valor 0 (No se utiliza), ya que se ha considerado que si una empresa no había respondido sería por que la utilización de esa herramienta era nula. Esto se ha realizado a causa de una serie de problemas derivados de la realización de cálculos con los valores perdidos.

3.2.2 PASO 2: SUPUESTOS EN EL ANÁLISIS FACTORIAL

En este paso se debe asegurar la conveniencia de la utilización del análisis factorial. Este paso se realizará a través de la utilización del contraste de esfericidad de Bartlett y la medida de adecuación muestral KMO.

El contraste de esfericidad de Bartlett es una prueba estadística para analizar la presencia de correlaciones entre variables. Este valor contrasta la hipótesis nula de que la matriz de correlaciones es una matriz identidad, es decir que no existen correlaciones significativas entre las variables, no siendo por tanto el modelo factorial pertinente.

La medida de adecuación muestral KMO contrasta si las correlaciones parciales entre las variables son lo suficientemente pequeñas. Este estadístico varía entre 0 y 1, indicando los valores pequeños que el análisis factorial podría no ser adecuado ya que las correlaciones entre los pares de variables no pueden ser explicadas por otras variables.

A continuación en la tabla 27 se presentan los resultados obtenidos.

Prueba KMO y Bartlett		
Medida de Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		0,824
Prueba de esfericidad de Bartlett	Significación	0

Tabla 33: Pruebas KMO y de esfericidad de Bartlett

Se observa que el índice KMO tiene un valor de 0,824 siendo por tanto adecuado realizar el análisis factorial. Además la significancia de la prueba de esfericidad de Bartlett es de 0 (es menor de 0,5), por lo que podemos rechazar la hipótesis nula de que

la matriz de correlaciones es una matriz identidad, así se confirma que la realización de un análisis factorial es aceptable.

3.2.3 PASO 3: CÁLCULO DEL NÚMERO DE FACTORES A SER EXTRAÍDOS

A la hora de elegir el número de factores a extraer se ha seguido el criterio de raíz latente. Según dicho criterio, cada factor individual debería justificar la varianza de por lo menos una única variable. Esto quiere decir que solo se considerarán los factores con autovalores mayores que 1 (aquellos que explican al menos una variable). Por tanto todos aquellos factores con un autovalor menor que 1 se considerará que no son significativos.

En la tabla 28 se muestran los autovalores obtenidos al realizar el análisis factorial y el porcentaje de varianza que cada uno supone.

Componente	Autovalores iniciales			Extracción		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	2,988	49,793	49,793	2,988	49,793	49,793
2	0,821	13,685	63,478			
3	0,746	12,435	75,913			
4	0,577	9,623	85,536			
5	0,473	7,876	93,412			
6	0,395	6,588	100			

Tabla 34: Autovalores y porcentajes de varianza explicada en el análisis factorial dependiendo del número de factores.

Se observa que tomando un solo factor (solo tomamos autovalores mayores que 1) se podrá explicar el 49,793% de la varianza.

Además de utilizar el criterio de raíz latente se va a utilizar también el criterio de contraste de caída.

Al utilizar el método de las componentes principales para la realización del análisis factorial, los factores extraídos contienen la varianza total, es decir, tanto la varianza única como la varianza común. Aunque todos los factores contienen alguna varianza única, la proporción de ésta es considerablemente mayor en los factores posteriores que en los primeros. El contraste de caída se utiliza para identificar el número óptimo de factores que podrán ser extraídos antes de que la varianza única sea mayor que la varianza común.

A continuación en la ilustración 32 se observa el gráfico de sedimentación a partir del cual se lleva a cabo el criterio de contraste de caída.

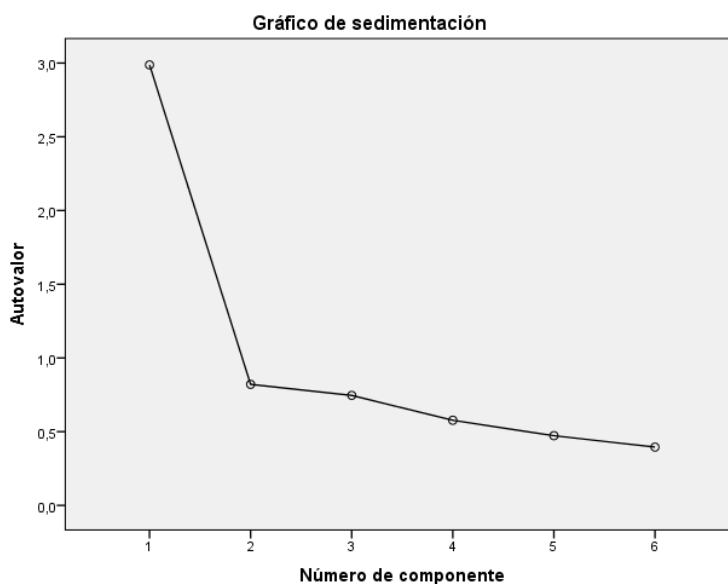


Ilustración 32: Gráfico de sedimentación. Referencia: SPSS

En el gráfico se observa que a partir del segundo factor la curva empieza a disminuir drásticamente su pendiente convirtiéndose paulatinamente en una horizontal. Se considera que el punto en el cual la curva empieza a rectificarse indica el número máximo de factores a extraer. Es por tanto dos el número de factores que se deberían extraer al realizar el análisis factorial según el criterio de contraste de caída.

A pesar de esto, se observa que el factor 2 tienen un autovalor menor que uno, por tanto utilizando también el criterio de raíz latente dicho factor se eliminaría considerando necesario, finalmente, extraer solo un factor.

3.3 ANÁLISIS DE VARIANZA

Los modelos de análisis de varianza se utilizan para estudiar datos que proceden de muestras con una o más variables independientes cualitativas y una variable dependiente cuantitativa. A las variables independientes se les llama factores y a la variable dependiente se le llama respuesta.

El análisis de varianza (ANOVA por sus siglas en inglés) permite saber si existen diferencias significativas en las medias de las poblaciones estudiadas, es decir, permite contrastar la hipótesis nula de que las medias de dichas poblaciones son iguales. Por otro lado la hipótesis alternativa establece que al menos una de las medias de alguna de las poblaciones es diferente.

A la hora de realizar un análisis de varianza se tienen en cuenta una serie de supuestos que se mencionan a continuación:

- Todos los grupos estudiados siguen una distribución normal.
- Todos los grupos tienen varianzas iguales o parecidas. Esto se conoce como homocedasticidad.
- Debe existir independencia en las observaciones.
- Debe existir una equivalencia entre grupos, es decir, estos deben tener tamaños similares.

En el caso estudiado se va a realizar un análisis de varianza de un factor para comparar el valor medio de una variable dependiente cuantitativa, que corresponde con el grado de utilización de las distintas herramientas de mejora de la calidad, dentro de varios grupos.

Los grupos que se van a considerar dentro del estudio son los realizados a un conjunto de empresas industriales españolas en función de las siguientes características:

1. Año de fundación del establecimiento.
2. Tipo de producto fabricado en el establecimiento.
3. Tamaño de la empresa medido en número de empleados.
4. Empresas exportadoras y no exportadoras.
5. Ventaja competitiva utilizada.
6. Sector caracterizado por su intensidad tecnológica

En el caso estudiado si se acepta la hipótesis nula de igualdad entre medias se establecerá que la característica estudiada no afecta al grado de utilización de las distintas herramientas de mejora de la calidad. Si por el contrario se rechaza la hipótesis nula, es decir, se acepta la hipótesis alternativa de disparidad entre medias, significará que existen diferencias estadísticamente significativas que llevan a que la característica estudiada si afecte al grado de utilización de las distintas herramientas de mejora de la calidad.

3.3.1 AÑO DE FUNDACIÓN DE LA PLANTA

Las empresas han sido divididas en cuatro grupos en función de esta característica. Los grupos realizados son los mismos que los que ya se utilizaron en partes anteriores del presente trabajo.

Una vez realizado el análisis de varianza se puede aceptar la hipótesis nula (Significancia $> 0,05$) que afirma que no existen diferencias significativas entre las medias de los distintos grupos estudiados. Esto significa que el año de fundación de las empresas no afecta al grado de utilización de herramientas de mejora de la calidad.

Observando el estadístico de Levene y siendo la significancia de este mayor que 0,05 podemos aceptar la hipótesis nula que establece la existencia de homogeneidad de varianzas entre grupos, además, sabemos que las muestras son independientes entre sí y los grupos son lo suficientemente grandes y parecidos entre sí.

	Indicador	Nº Casos	Media	F-Valor	Levene
Hasta 1940	1	60	1,9806	1,698 (0,167)	0,217
1940-1962	2	67	2,4478		
1962-1984	3	174	2,4358		
1984-2005	4	94	1,9326		

Tabla 35: Análisis de varianza en función del año de fundación de la planta.

3.3.2 TIPO DE PRODUCTO FABRICADO

Las empresas con las que se está realizando el estudio han sido organizadas en función del tipo de producto que realizan. Esta organización se ha realizado de la misma forma que en estudios anteriores realizados en el presente trabajo.

El análisis de varianzas muestra que existen diferencias estadísticamente significativas (Significancia $< 0,05$) en el grado de utilización de herramientas de mejora de la calidad entre las empresas que producen diferentes tipos de productos, es decir, podemos rechazar la hipótesis nula y por tanto afirmar que el tipo de producto fabricado afecta en el grado de utilización de herramientas de mejora de la calidad.

El test de Levene rechaza la hipótesis nula (Significancia $< 0,05$) que afirma la existencia de homogeneidad de varianzas. No obstante la diferencia de medias es tan significativa (Sig ≈ 0) que la no homogeneidad de varianzas no es relevante. Además se sabe que las muestras son independientes entre sí y el tamaño de los grupos es similar y lo suficientemente grande.

Por tanto se concluye que el tipo de producto que se realiza en el establecimiento sí influye en el grado de utilización de las distintas herramientas de calidad tratadas.

	Indicador	Nº Casos	Media	F-Valor	Levene
Bienes de consumo	1	243	2,1831	7,021 (0,001)	0,019
Bienes intermedios	2	124	2,6035		
De ambos tipos	3	34	1,1127		

Tabla 36: Análisis de varianza en función del tipo de producto fabricado.

Analizando los datos presentados en la tabla 30, se observa que son aquellas empresas que fabrican bienes intermedios y de equipo las que más utilizan este tipo de herramientas. Esto entra dentro de toda lógica, ya que este tipo de bienes está mucho más sujeto al cumplimiento de diferentes especificaciones por parte de los clientes (en este caso otras empresas) que aquellos productos cuya venta se realiza directamente al consumidor y que por tanto no tiene unas especificaciones tan restrictivas.

3.3.3 NÚMERO DE TRABAJADORES EN PLANTILLA

La división de las empresas en función de su tamaño de plantilla se ha realizado según la clasificación designada de microempresa, pymes y grandes empresas. Dentro de las muestras estudiadas no se encontraron micro o pequeñas empresas, pero se encontraron un alto número de empresas medianas (desde 50 hasta 250) y otras grandes, por tanto se decidió dividir en dos grupos las medianas empresas con el objetivo de tener tres grupos más similares entre sí en el tamaño. Esta clasificación se ha explicado en puntos anteriores del presente trabajo.

El análisis de varianza revela la existencia de diferencias estadísticamente significativas (Significancia < 0,05) en las medias referentes al grado de utilización de herramientas de mejora de la calidad en empresas agrupadas en función de su tamaño, es decir, se rechaza la hipótesis nula. Por tanto se concluye que el tamaño de las empresas influye en el grado de utilización de herramientas de mejora de la calidad.

Observando el estadístico de Levene y al ser este mayor de 0,05 podemos aceptar la hipótesis nula que afirma la homogeneidad de varianzas. Por otro lado las muestras se sabe que son independientes y el tamaño de los grupos es parecido y lo suficientemente grande.

	Indicador	Nº Casos	Media	F-Valor	Levene
Mediana 1	1	247	2,2065	5,648 (0,004)	0,556
Mediana 2	2	99	2,6667		
Gran Empresa	3	55	1,4939		

Tabla 37: Análisis de varianza en función del número de trabajadores en plantilla.

De este modo observando los datos presentados en la tabla 31 se puede concluir que son las empresas con un número de trabajadores entre 125 y 250 las que más utilizan las herramientas de mejora de la calidad, seguidas por aquellas empresas con entre 50 y 125 trabajadores y por último las grandes empresas con más de 250.

3.3.4 EXPORTADORES O NO EXPORTADORES

Como el estadístico de Levene es mayor de 0,05 podemos aceptar la hipótesis nula que afirma que existe una homogeneidad en las varianzas. El análisis de varianzas revela que existen diferencias significativas ($\text{Sig} < 0,05$) en cuanto al grado de utilización de herramientas de mejora de la calidad entre aquellas empresas que exportan sus productos y aquellas que no lo hacen. Es decir, el grado de exportación de una empresa sí que afecta en la utilización que estas hacen de las herramientas de mejora de la calidad.

	Indicador	Nº Casos	Media	F-Valor	Levene
No Exportadores	1	326	2,3722	9,031 (0,003)	0,077
Exportadores	2	75	1,5711		

Tabla 38: Análisis de varianza en función de si la empresa es o no exportadora.

3.3.5 VENTAJA COMPETITIVA UTILIZADA

Otro de los factores que se ha estudiado ha sido el impacto que tiene el factor más importante dentro de la producción de cada empresa en el grado de utilización de herramientas de mejora de la calidad.

Los factores que se han considerado han sido el coste, la calidad de producto, la flexibilidad, el tiempo de entrega, la innovación y el servicio. Al analizar las muestras con las que se ha trabajado, se observó que el número de empresas que consideraban el

coste o la calidad de producto como el factor más importante era mucho mayor que aquellas que consideraban cualquier otro factor como el más importante. De este modo se decidió tener en cuenta solo tres factores, coste, calidad y como último grupo el resto de factores. Esto ha quedado explicado en anteriores apartados del presente trabajo en los que también se analizó esta característica.

Los resultados arrojados por el análisis de varianzas muestran que no existen diferencias significativas (Significación $> 0,05$) en el grado de utilización de las herramientas de mejora de la calidad entre aquellas empresas que difieren en cuanto al factor más importante en su producción, ya sea el coste, la calidad o cualquier otro. Se acepta la hipótesis nula.

Observando el estadístico de Levene y siendo éste mayor de 0.05 podemos aceptar la hipótesis nula que afirma la homogeneidad de varianzas. Además se sabe que las muestras son independientes entre sí y que los grupos son lo suficientemente grandes y parecidos entre sí.

	Indicador	Nº Casos	Media	F-Valor	Levene
Coste	1	119	2,1653	0,072 (0,848)	0,069
Calidad	2	236	2,2387		
Resto	3	46	2,2862		

Tabla 39: Análisis de varianza en función de la ventaja competitiva utilizada.

3.3.6 SECTOR CARACTERIZADO POR SU INTENSIDAD TECNOLÓGICA

Por último se ha realizado un análisis de varianzas en función del sector al que cada empresa pertenece. De este modo y a causa de la presencia de una gran variedad de sectores (lo que lleva a una clasificación con muchos grupos de pocas muestras cada uno, es decir aumenta el posible error), se han agrupado estos en función de la intensidad tecnológica que presentan.

La clasificación realizada es la siguiente como ya se ha indicado en apartados anteriores:

1. Baja intensidad: Corresponde a los sectores de; alimentación, bebidas y tabaco; textil, confección, cuero y calzado; madera y corcho, papel y artes gráficas; muebles y otras manufacturas diversas.
2. Media baja intensidad: Engloba los sectores de; caucho, materias plásticas y otros minerales no metálicos; metalurgia y fabricación de metales (salvo maquinaria).
3. Media alta intensidad: Agrupa a los sectores de; química; maquinaria y equipo mecánico; material eléctrico; vehículos a motor y material de transporte.

4. Alta intensidad: Aquí se encuentran los sectores de; material electrónico, instrumentos médicos, óptica e informática; industria farmacéutica; industria aeronáutica.

Una vez realizado en análisis de varianzas los resultados muestran que existen diferencias estadísticamente significativas en las medias referentes al grado de utilización de cada una de las herramientas de mejora de la calidad (Significancia $< 0,05$). Por tanto se rechaza la hipótesis nula, es decir, se acepta el hecho de que el tipo de sector al que una empresa pertenece afecta al grado de utilización de herramientas de mejora de la calidad.

Analizando además el estadístico de Levene se rechaza la hipótesis nula que afirma la homogeneidad de varianzas (Significancia $< 0,05$), a pesar de esto, se considera que la diferencia existente entre las medias es lo suficientemente significativa como para que la no homogeneidad de varianzas no sea del todo relevante. Además se sabe que las muestras son independientes entre sí y que los grupos son lo suficientemente grandes y parecidos.

	Indicador	Nº Casos	Media	F-Valor	Levene
Baja intensidad	1	159	2,3197	3,273 (0,021)	0
Media baja intensidad	2	127	2,2323		
Media alta intensidad	3	94	2,3511		
Alta intensidad	4	21	0,8492		

Tabla 40: Análisis de varianza en función de la intensidad tecnológica del sector al que pertenecen.

3.4 REGRESIÓN LINEAL

3.4.1 INTRODUCCIÓN

En el presente apartado se pretende dar respuesta a la pregunta de si existe algún modelo matemático que, a través de las características de las empresas utilizadas, explique los diferentes grados de utilización de las herramientas de mejora de la calidad en las empresas. Es decir se pretende hallar un modelo que nos permita responder a las siguientes preguntas ¿Qué empresas harán más uso de este tipo de herramientas? ¿Cuáles lo utilizarán menos?

Para dar respuesta a las preguntas planteada se va a realizar una regresión lineal cuyo objetivo es el de encontrar diferentes modelos matemáticos que, a través de una serie de variables independientes, expliquen el comportamiento de una variable dependiente.

De este modo la variable dependiente con la que se va a trabajar es una nueva variable calculada como la media del grado de utilización de todas las herramientas de mejora de la calidad tratadas, en cada una de las empresas de las cuales se tiene información.

Las variables independientes que se utilizarán son las mismas que se han trabajado durante los diferentes apartados del presente proyecto, estas son:

- Año de fundación de la planta.
- Tipo de producto fabricado, diferenciando entre bienes de consumo, intermedios y de equipo o ambos.
- Tamaño de la plantilla.
- Empresa exportadora o no exportadora.
- Ventaja competitiva que utiliza la planta, entre las cuales se trabaja con coste, calidad o cualquier otra diferente.
- Intensidad tecnológica, diferenciando cuatro grupos que son; baja intensidad; media baja intensidad; media alta intensidad; alta intensidad.

3.4.2 ANÁLISIS

A la hora de realizar un análisis de regresión múltiple se deben de tener en cuenta una serie de supuestos. Estos supuestos son:

- Linealidad de la característica medida.
- Homocedasticidad del término del error. (comprobado antes)
- Independencia de los términos del error.(DW)
- Normalidad en la distribución del término del error.(graf)

En cuanto al método con el cual se va a realizar la regresión se ha considerado oportuno utilizar un método por pasos, paso a paso o stepwise.

La característica principal de este método, por la cual se ha decidido realizar la regresión a través del mismo, es que esta aproximación permite examinar la contribución que cada una de las variables independientes realiza a la hora de explicar un posible modelo, y así decidir cuáles de dichas variables es necesario incluir y cuáles no.

Se debe tener en mente que si se utiliza un método como el explicado anteriormente, se deberá comprobar la multicolinealidad entre variables. Esto se realiza ya que dicha multicolinealidad puede tener un impacto negativo sobre la caracterización final del modelo.

Basta con analizar un poco este hecho para darse cuenta de que, si el método paso a paso busca introducir variables adicionales, siempre y cuando estas provoquen un aumento sustancial en la capacidad predictiva del modelo, y existen varias variables independientes con un alto grado de multicolinealidad, es decir con una fuerte

correlación entre ellas, es muy probable que cuando se introduzca una de estas variables en el modelo se acaben introduciendo también otras debido a su elevada correlación.

A continuación se adjunta un diagrama sobre cómo funciona el método paso a paso.

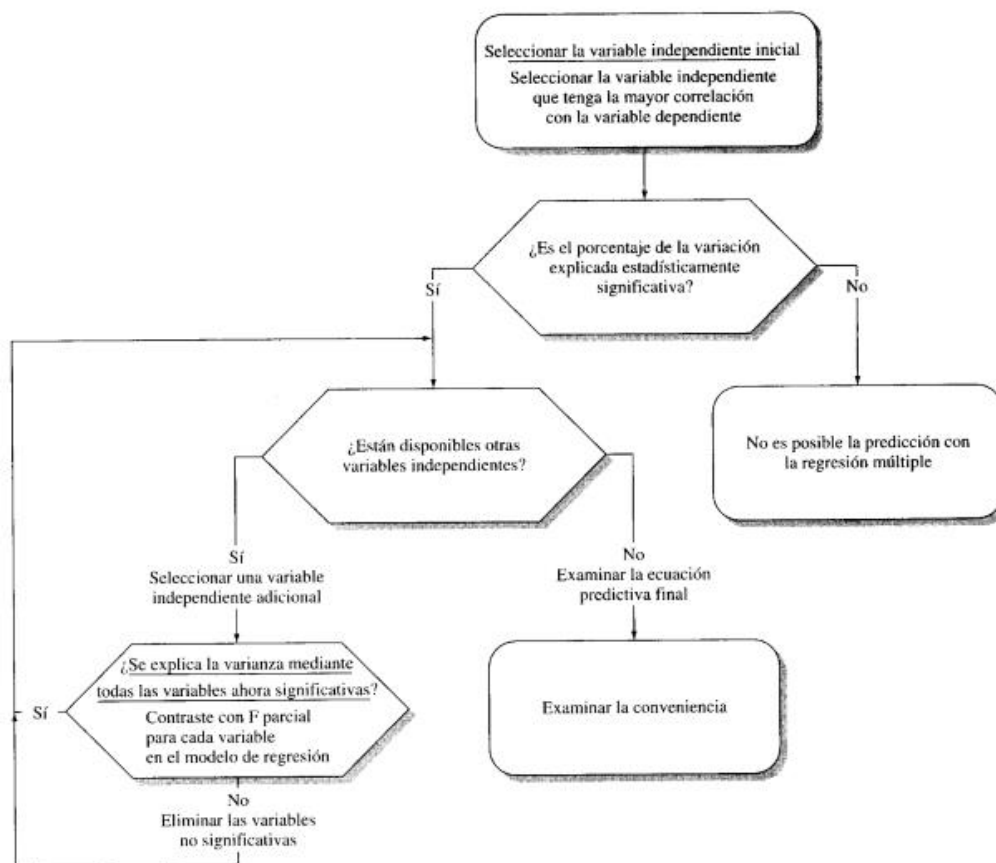


Ilustración 33: Diagrama sobre el funcionamiento del método paso a paso. Referencia: Análisis multivariante J.F. Hair.

3.4.3 RESULTADOS

Las correlaciones de Pearson existentes entre las variables así como su significación se muestran en la tabla 35.

Correlación de Pearson	Factor Media Herramientas	Año de fundación	Tipo de producto	Tamaño de plantilla	Exportador o no	Ventaja competitiva	Intensidad tecnológica
Factor Media Herramientas	1	-0,026 (0,3)	0,058 (0,123)	0,239 (0)	-0,194 (0)	0,009 (0,431)	0,302 (0)
Año de fundación	-0,026 (0,3)	1	0,065 (0,098)	-0,017 (0,367)	0,073 (0,073)	0,004 (0,468)	0,067 (0,093)
Tipo de producto	0,058 (0,123)	0,065 (0,098)	1	-0,052 (0,153)	-0,105 (0,019)	0,016 (0,377)	0,287 (0)
Tamaño de plantilla	0,239 (0)	-0,017 (0,367)	-0,052 (0,153)	1	-0,139 (0,003)	0,012 (0,003)	0,049 (0,166)
Exportador o no	-0,194 (0)	0,073 (0,073)	-0,105 (0,019)	-0,139 (0,003)	1	0,024 (0,315)	-0,208 (0)
Ventaja competitiva	0,009 (0,431)	0,004 (0,468)	0,016 (0,377)	0,012 (0,003)	0,024 (0,315)	1	-0,102 (0,022)
Intensidad tecnológica	0,302 (0)	0,067 (0,093)	0,287 (0)	0,049 (0,166)	-0,208 (0)	-0,102 (0,022)	1

Tabla 41: Correlaciones entre las diferentes características tratadas.

Analizando detenidamente a la tabla de correlaciones se observan diferentes aspectos a tener en cuenta:

- El valor de significación (indicado entre paréntesis) entre la variable independiente y las variables “Tamaño de plantilla”, “Exportador o no” e “Intensidad tecnológica” es menor de 0,05 por lo que podemos afirmar que existe una elevada correlación entre la variable independiente y cada una de las variables dependientes especificadas. Esto entra dentro de toda lógica ya que como se explicará más adelante, esta son las tres variables utilizadas a la hora de explicar el modelo buscado a través de la regresión lineal. Por otro lado la correlación de la variable dependiente con las otras tres variables independientes no es elevada a juzgar por sus valores de significación.
- La variable “Año de fundación” no está relacionada con ninguna otra.
- La variable “Tipo de producto” está relacionada directamente la variable “Intensidad tecnológica” (Sig 0) e inversamente con “Exportador o no” (Sig 0,019).
- La variable “Tamaño de plantilla” está relacionada directamente con la variable “Ventaja competitiva” (Sig 0,03) e inversamente con la variable “Exportador o no” (Sig 0,03).
- La variable “Exportadores o no” se encuentra relacionada inversamente con las variables “Tipo de producto” (Sig 0,019), “Tamaño de plantilla” (Sig 0,003) e “Intensidad tecnológica” (Sig 0).

- La variable “Ventaja competitiva” se encuentra relacionada directamente con la variables “Tamaño de plantilla” (Sig 0,003) e inversamente con “Intensidad tecnológica” (Sig 0,022).
- La variable “Intensidad tecnológica” se encuentra directamente relacionada con las variables “Tipo de producto” (Sig 0) e inversamente relacionada con las variables “Ventaja competitiva” (Sig 0,022) y “Exportador o no exportador” (Sig 0).

Para explicar el proceso seguido a la hora de decidir que variables son necesarias para explicar el modelo y cuáles no se va a hacer uso de la tabla que hace referencia a las variables excluidas, es decir, aquellas que no fueron incluidas en el modelo. Esta información se encuentra en la tabla 42.

Modelo	Variables excluidas	Sig.
1	Año de fundación	0,332
	Tipo de producto	0,542
	Tamaño de plantilla	0
	Exportador o no	0,005
	Ventaja competitiva	0,41
2	Año de fundación	0,369
	Tipo de producto	0,765
	Exportador o no	0,024
	Ventaja competitiva	0,444
3	Año de fundación	0,48
	Tipo de producto	0,666
	Ventaja competitiva	0,434

Tabla 42: Variables excluidas en el modelo.

Obteniendo las variables excluidas y su significancia se observa que aquellas variables cuya significación, es decir su valor de probabilidad, es menor que 0,05 (Sig < 0,05) han sido incluidas en el modelo siguiente. Esto se ha realizado hasta que se ha llegado al punto en el cual no existe ninguna variable excluida con una significación menor de 0,05 llegando así al modelo final.

Las variables que se han utilizado en cada uno de los modelos obtenidos se especifican a continuación en la tabla 43.

Modelo	Variables incluidas
1	Intensidad tecnológica
2	Tamaño de plantilla
3	Exportadores o no

Tabla 43: Variables de entrada en el modelo.

De este modo se observa que el primer modelo ha utilizado únicamente la variable “Intensidad tecnológica” mientras que el segundo ha utilizado “Intensidad tecnológica” y “Tamaño de plantilla” y el tercero ha sumado a estas dos variables otra más que es “Exportadores o no”.

Los modelos obtenidos se representan en la tabla 44.

En dicha tabla se representan:

- El valor de R cuadrado de cada uno de los modelos. Este valor corresponde a la variación de la variable dependiente que es explicada por el modelo correspondiente. De este modo se observa que al ir aumentando el número de variables predictoras, el valor de R cuadrado aumenta, aunque esto no significa que el modelo en sí sea mejor. Para ello es necesario observar el valor de R cuadrado ajustado.
- R cuadrado ajustado de cada uno de los modelos. Este valor equivale a la parte de la variación de la variable dependiente, que es explicada por las variables predictoras, ajustado para el número de variables predictoras que el modelo utiliza. De este modo a través de este valor se puede conocer si el modelo se ajusta efectivamente mejor o sencillamente tiene un mayor valor de R cuadrado por que utiliza más variables independientes.
- Estadístico Durbin-Watson. Este estadístico se utiliza para comprobar la suposición de independencia de los residuos o errores del modelo. Valores cercanos a dos indican que efectivamente los residuos son independientes.
- Coeficientes no estandarizados.
- Coeficientes estandarizados. Estos coeficientes indican la importancia de cada variable predictora dentro del modelo. Estos coeficientes se calculan multiplicando el coeficiente no estandarizado por la desviación estándar de la variable correspondiente y dividiendo el resultado por la desviación estándar de la variable dependiente.
- Significancia. Solo aquellas variables independientes con un valor de probabilidad menor de 0,05 serán incluidas en el modelo, ya que este se ha realizado mediante el método paso a paso como ya se ha comentado anteriormente.
- Tolerancia. Este valor se utiliza para comprobar la colinealidad de múltiples variables. Corresponde a la parte de variabilidad de las variables independientes utilizadas que no es explicada por el resto de variables independientes. Por tanto una baja tolerancia indica una elevada colinealidad.
- VIF. Se utiliza también para comprobar la colinealidad entre variables. En este caso elevados valores de VIF (por encima de 10) indican una elevada colinealidad.

Una vez obtenidos y estudiados todos los datos se llega a la conclusión de que el modelo que mejor explica la variable independiente es el modelo 3 ya que tiene una R cuadrado ajustada de 14.6 % y que es mayor que los otros dos modelos.

Por otro lado el estadístico Durbin-Watson obtenido es 1,642 y por tanto confirma la independencia de los residuos al ser lo suficientemente cercana a 2.

Si se observan las significancias queda claro que las tres variables predictoras han sido bien incluidas en el modelo.

Por otro lado tanto los valores de tolerancia de las variables (todos ellos cercanos a uno) como sus valores de VIF (alejados de diez y cercanos a 1) indican que la linealidad existente entre variables es muy baja, prácticamente inexistente.

La comprobación del supuesto de normalidad de los residuos se comprueba a través del gráfico p-p (ilustración 34). Donde se representan los residuos obtenidos mediante el modelo y los datos que se obtendrían teóricamente en una distribución normal. De este modelo se confirma que el ajuste de los residuos a una distribución normal es bastante correcto.

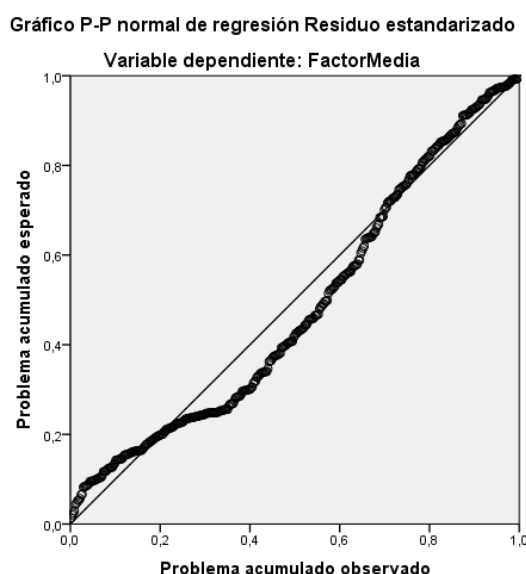


Ilustración 34: Gráfico P-P estudio de normalidad de los residuos. Referencia: SPSS.

Si se analizan los coeficientes estandarizados del modelo final (modelo 3) se observa que la intensidad tecnológica es la variable que tiene una mayor incidencia, de modo que a mayor intensidad tecnológica, mayor será la utilización de las herramientas de mejora de la calidad. En cambio analizando el coeficiente correspondiente a la variable de exportadores o no, se observa que dicho coeficiente es negativo lo que significa que cuanto menor es el porcentaje de ventas que las empresas realizan a clientes españoles (es decir, cuanto más exportan) mayor será la utilización de este tipo de herramientas. En cuanto a la variable que trata el tamaño de la plantilla, se puede afirmar a juzgar por el coeficiente que le acompaña que, a al igual que en el caso de la intensidad

tecnológica, a mayor tamaño de plantilla mayor será la utilización de las herramientas de mejora de la calidad.

Finalmente podemos dar respuesta a las preguntas planteadas al comienzo del presente apartado:

- ¿Qué empresas harán un mayor uso de las herramientas de mejora de la calidad?
A juzgar por los resultados obtenidos se puede afirmar que aquellas pertenecientes a un sector con mayor intensidad tecnológica, con un mayor tamaño de plantilla y con un mayor índice de exportación, realizarán una mayor utilización de este tipo de herramientas.

Por último se van a analizar estos resultados a fin de entender si son lógicos:

- Intensidad tecnológica: Cuanta mayor sea la intensidad tecnológica utilizada en una empresa es de esperar que mayores sean los controles de calidad, a fin de minimizar los riesgos de fallo que podrían causar una gran pérdida económica. Los componentes tecnológicos deben estar siempre en perfecto estado para evitar que sean importantes focos de fallo, y cualquiera de las herramientas tratadas en este proyecto son beneficiosas en este aspecto. De ahí que en empresas que las utilicen, exista una mayor implantación de distintas herramientas de mejora de la calidad.
- Tamaño de plantilla: Cuanto mayor sea el tamaño de la plantilla de una empresa más difícil se hace llevar un correcto control de las acciones llevadas a cabo por cada uno de los empleados. Implantar herramientas que por promuevan la organización y el control dentro de las empresas es muy beneficiosos a la hora de mantener un correcto desempeño en todos los ámbitos. De ahí que las empresas con un mayor tamaño de plantilla lleven a cabo una mayor utilización de las distintas herramientas de mejora de la calidad.
- Empresas exportadores o no exportadoras: Las empresas exportadoras deben hacer frente a un mercado más global, donde encuentran un mayor número de competidores entre los que pueden existir algunos que realicen sus productos en países en los que la mano de obra es más barata. Esto lleva a hacer frente a la imperiosa necesidad de ajustar al máximo los costes de fabricación y de maximizar al máximo la productividad, con el fin de sobrevivir en un mercado tan competitivo. Así es como se explica que aquellas empresas con un mayor grado de exportación hagan un mayor uso de las distintas herramientas de mejora de la calidad.

Modelo	R cuadrado	R cuadrado Ajustado	Durbin-Watson	Variables	β no estandarizados	β estandarizados	Sig	Tolerancia	VIF
1	0,091	0,089		Constante	0,88		0		
				Intensidad tecnológica	0,698	0,302	0	1	1
2	0,142	0,137		Constante	0,74		0,002		
				Intensidad tecnológica	0,672	0,291	0	0,998	1,002
				Tamaño de plantilla	0,001	0,225	0	0,998	1,002
3	0,153	0,146	1,642	Constante	1,422		0		
				Intensidad tecnológica	0,621	0,269	0	0,956	1,046
				Tamaño de plantilla	0,001	0,211	0	0,98	1,02
				Exportadores o no	-0,008	-0,109	0,024	0,94	1,063

Tabla 44: Modelos obtenidos y estadísticos utilizados.

4. CONCLUSIONES

4.1 ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS

Una vez realizados los análisis pertinentes se llega a la conclusión de que la herramienta de mejora de la calidad más utilizada por las empresas industriales españolas es el control estadístico de procesos (SPC), seguida por AMFE, 8D, 5S, Seis sigma y Taguchi.

No es de extrañar que el control estadístico de procesos esté tan explotado en la industria que se está tratando ya que posee una clara ventaja frente a otros métodos de mejora de la calidad y esta es la posibilidad de la detección precoz y prevención de los problemas.

4.2 ANÁLISIS FACTORIAL

En este apartado se confirmó la posibilidad de reducir los factores que trataban el grado de implantación de las diferentes herramientas de mejora de la calidad a un solo factor. Dicho factor utilizado fue la media del grado de utilización de todas las herramientas estudiadas en casa una de las empresas de las que se disponía de información.

4.3 ANÁLISIS DE VARIANZA

En este apartado se buscó encontrar aquellas variables independientes que afectaban al grado de utilización de las diferentes herramientas de mejora de la calidad.

De este modo se halló que el año de fundación de las empresas no afecta al uso que estas le dan a las herramientas de mejora de la calidad, y lo mismo sucede con el tipo de ventaja competitiva que las empresas explotan.

En cambio, tanto el tipo de producto fabricado como el número de trabajadores en plantilla, el hecho de ser o no una empresa exportadora y el sector al que la empresa pertenece (caracterizado éste en función de su intensidad tecnológica) se halló que sí que afectan al grado de utilización que estas empresas hacen de las herramientas de mejora de la calidad.

4.4 REGRESIÓN LINEAL

El objetivo último de esta parte del trabajo, como ya se citó anteriormente, era encontrar un modelo matemático que nos permitiese prever, en función de unas características específicas, que empresas realizarían una mayor utilización de las herramientas de mejora de la calidad.

De este modo se obtuvo un modelo matemático según el cual analizando tan solo la intensidad tecnológica del sector al que cada empresa pertenece, su tamaño de plantilla

y su volumen de exportaciones, se puede prever el grado de utilización de herramientas de mejora de la calidad que cada empresa realiza.

Más concretamente el modelo matemático presenta una relación directa con cada una de estas características, es decir, a mayor intensidad tecnológica, tamaño de plantilla y volumen de exportación, mayor será el grado de utilización de este tipo de herramientas.

5. BIBLIOGRAFÍA

- 1) D. Arturo Ruiz Falco, “Control Estadístico de los Procesos” Disponible en:
<http://web.cortland.edu/matresearch/ControlProcesos.pdf>
- 2) D. Roberto Carro Paz, D. Daniel González Gómez, “Control Estadístico de los Procesos” Disponible en :
http://nulan.mdp.edu.ar/1617/1/12_control_estadistico.pdf
- 3) SPC Consulting Group, “Control Estadístico de los Procesos” Disponible en:
<http://spcgroup.com.mx/que-es-spc/>
- 4) Fermín Mallor. Apuntes de la asignatura de Control Estadístico de la Calidad.
- 5) D. Carlos López, “5S” Disponible en:
<http://www.gestiopolis.com/5s-seiri-seiton-seiso-seiketsu-y-shitsuke-base-de-la-mejora-continua/>
- 6) “5S” Disponible en: <http://prevencionar.com/2016/06/23/metodo-las-5s/>
- 7) D. Manuel Bestratén Bellovi, D. Rosa Mª Orriols Ramos, “AMFE” Disponible en:
http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_679.pdf
- 8) “Taguchi” Disponible en: http://www.ugr.es/~mruiz/temas/Tema_9.pdf
- 9) Lean Solutions, “8D” Disponible en: <http://www.leansolutions.co/conceptos/8d/>
- 10) “Seis Sigma” Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Seis_Sigma
- 11) Analisis Multivariante. J. F Hair; R. E Anderson; R. L. Tatham.
- 12) D. Raúl Martín. Disponible en:
https://previa.uclm.es/profesorado/raulmmartin/Estadistica/PracticasSPSS/Supuestos_del_modelo_de_regresion_lineal.pdf
- 13) D. Ana Cecilia Kikut “Estimación de los coeficientes de regresión estandarizados” Disponible en:
http://www.bccr.fi.cr/investigacioneseconomicas/metodoscuantitativos/Estimacion_coeficientes_regresion_estandarizados.pdf